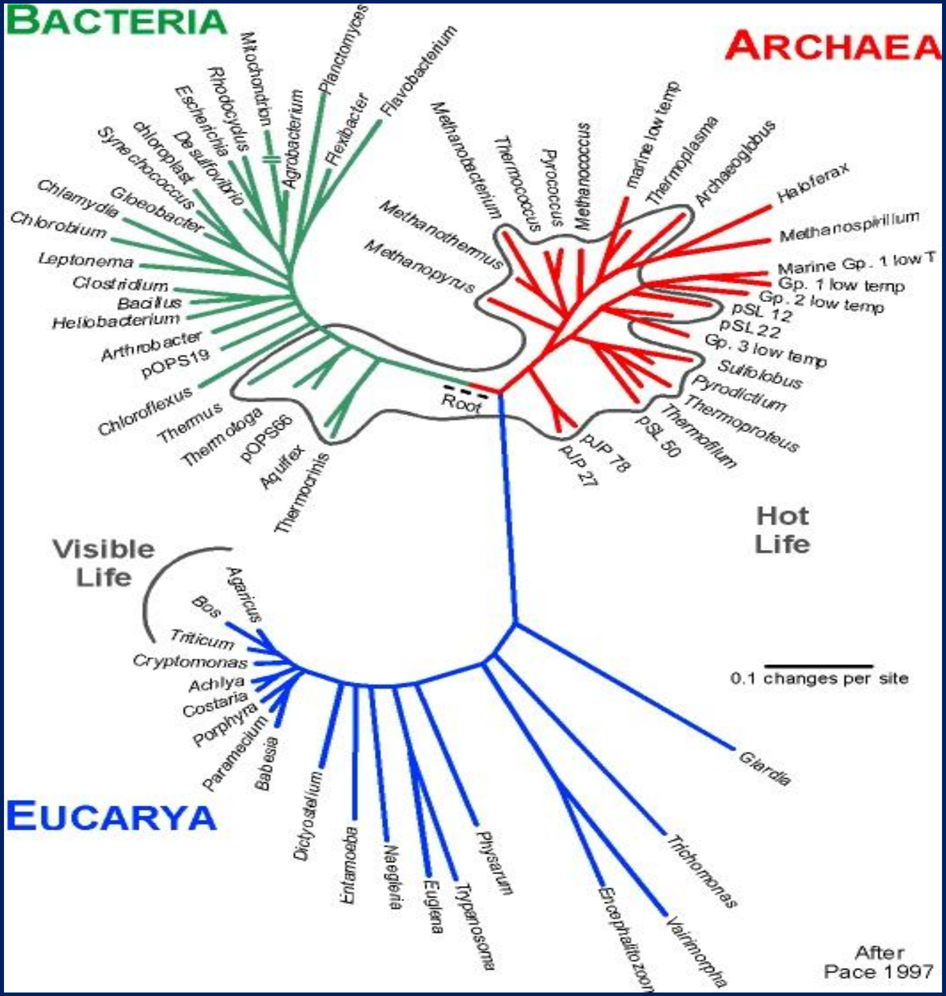
с/к «Биохимия клетки»
Лекция 1-1



After Pace 1997

3 домена жизни: сравнительная характеристика

Techniques for Determining Microbial Taxonomy and Phylogeny

- Classical Characteristics
  - morphological
  - physiological
  - biochemical
  - ecological
  - genetic

  - a new prokaryotic species cannot be recognized until it has been published in the *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*

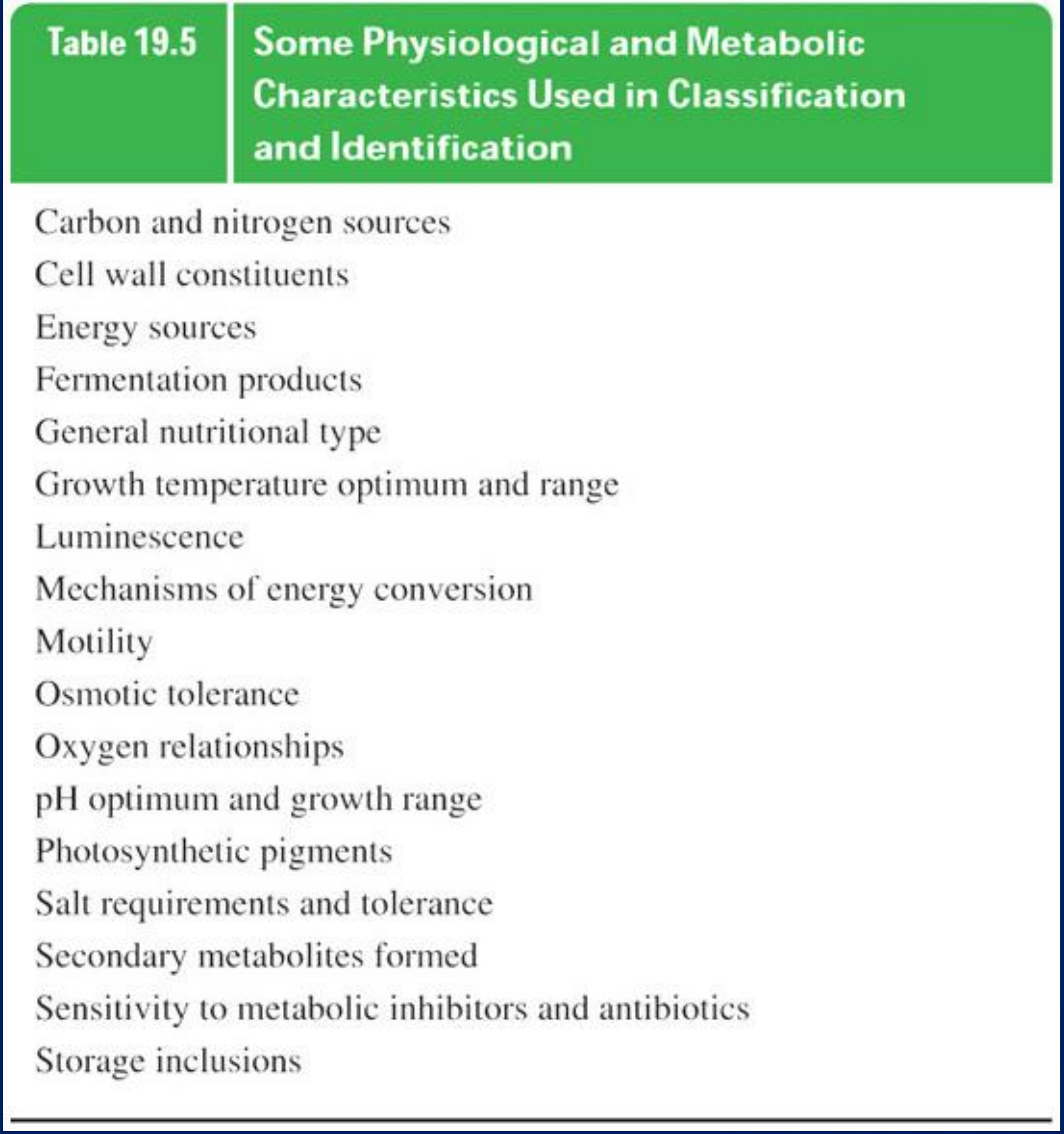
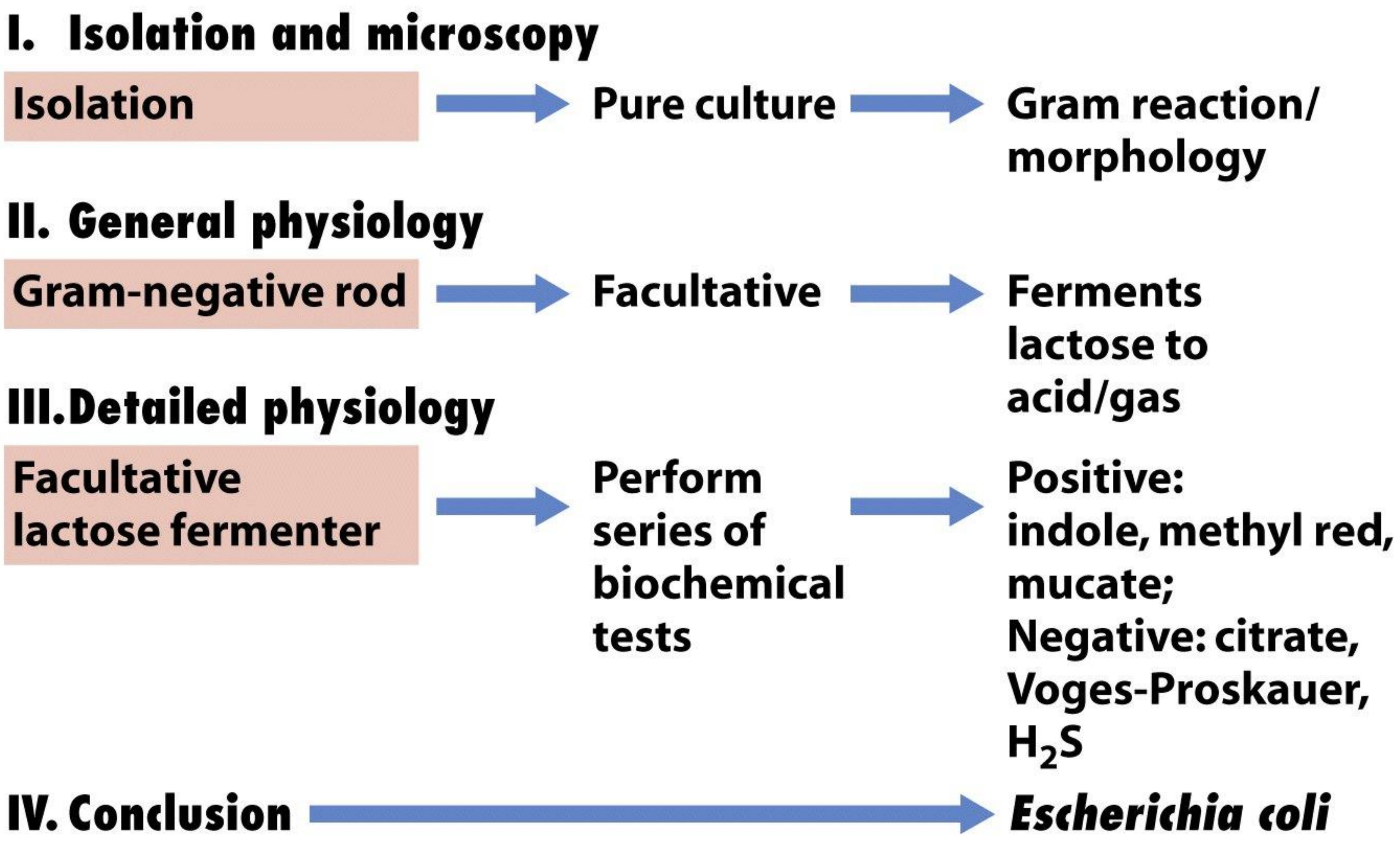


Table 19.5 **Some Physiological and Metabolic Characteristics Used in Classification and Identification**

Carbon and nitrogen sources
Cell wall constituents
Energy sources
Fermentation products
General nutritional type
Growth temperature optimum and range
Luminescence
Mechanisms of energy conversion
Motility
Osmotic tolerance
Oxygen relationships
pH optimum and growth range
Photosynthetic pigments
Salt requirements and tolerance
Secondary metabolites formed
Sensitivity to metabolic inhibitors and antibiotics
Storage inclusions



I. Isolation and microscopy

Isolation → Pure culture → Gram reaction/ morphology

II. General physiology

Gram-negative rod → Facultative → Ferments lactose to acid/gas

III. Detailed physiology

Facultative lactose fermenter → Perform series of biochemical tests → Positive: indole, methyl red, mucate; Negative: citrate, Voges-Proskauer, H_2S

IV. Conclusion → ***Escherichia coli***

Figure 11-20 Brock Biology of Microorganisms 11/e

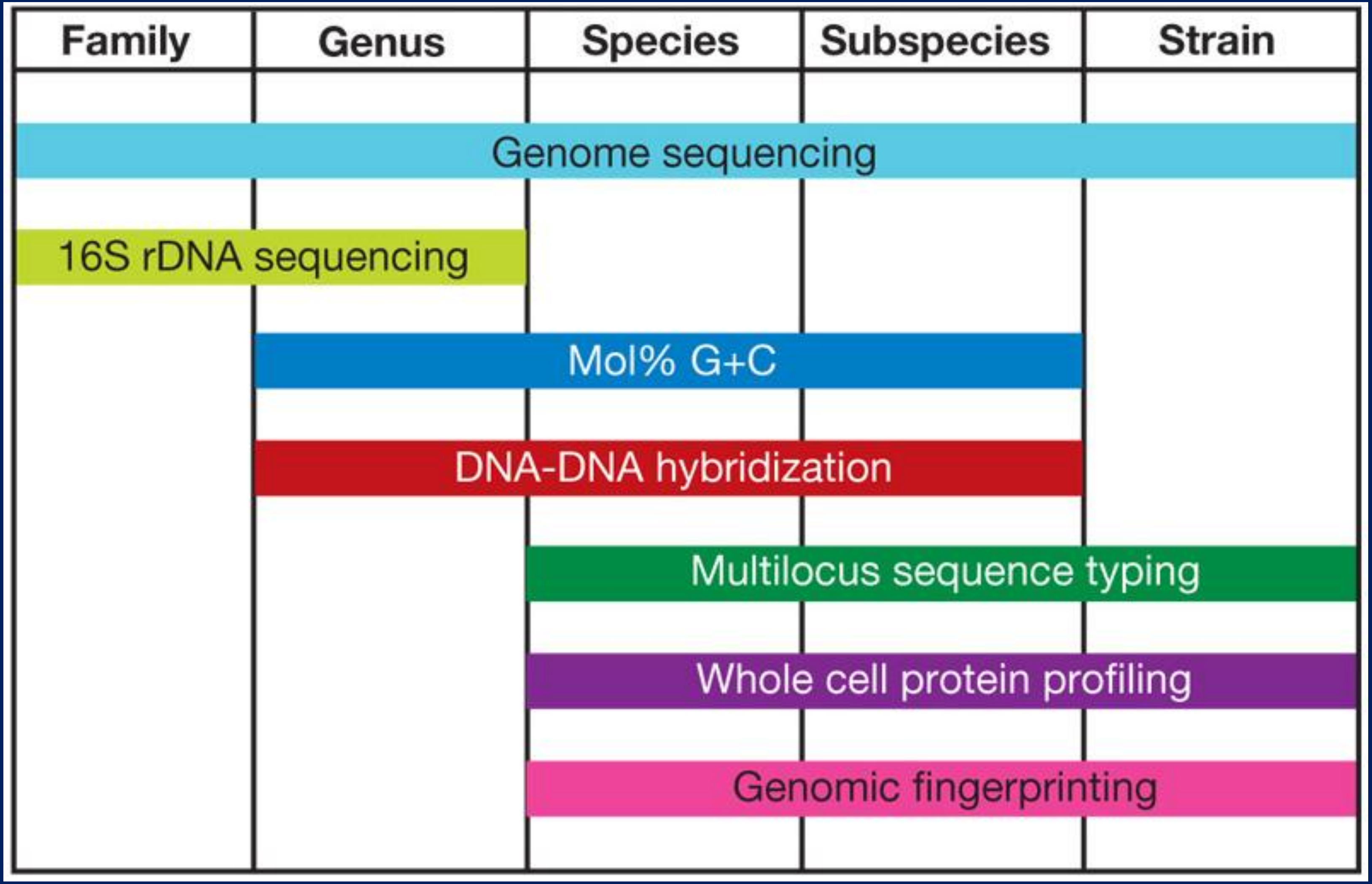
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

Molecular Approaches

- extremely important because almost no fossil record was left by microbes
- allows for the collection of a large and accurate data set from many organisms
- phylogenetic inferences based on these provide the best analysis of microbial evolution currently available

- comparison of proteins
- nucleic acid base composition
- nucleic acid hybridization
- nucleic acid sequencing

Relative Taxonomic Resolution of Various Molecular Techniques



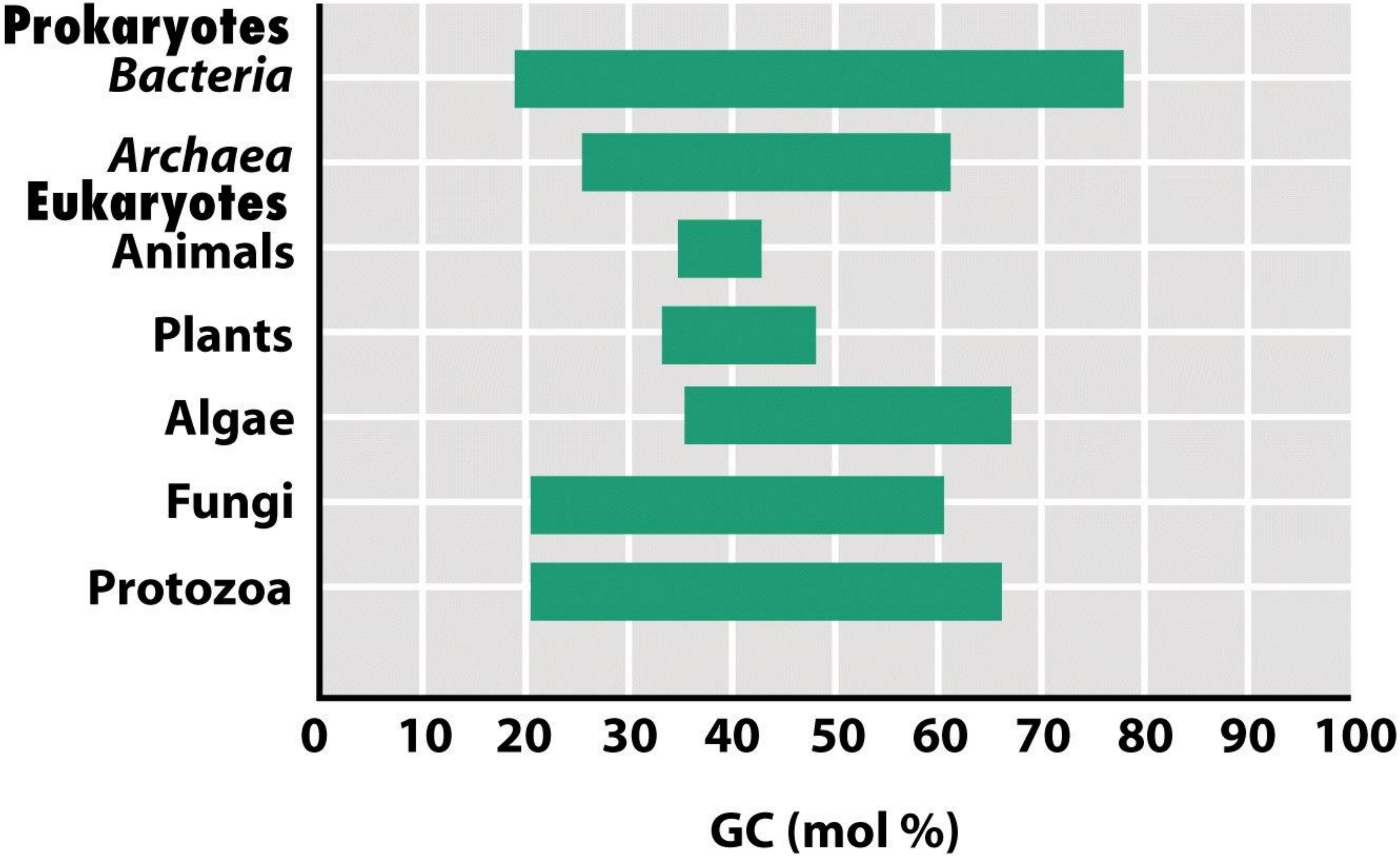


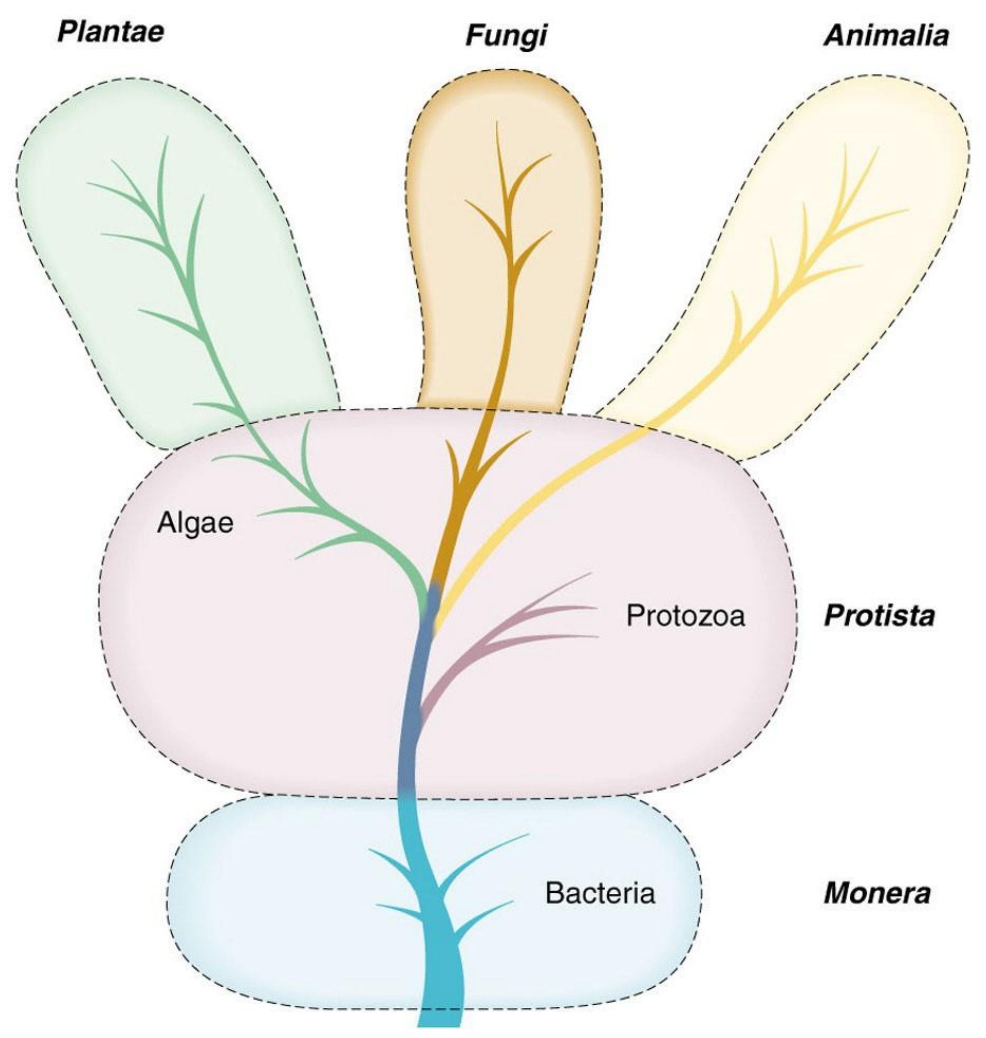
Figure 11-21 Brock Biology of Microorganisms 11/e

© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

Five Kingdom System

Multi- and unicellular, walled eukaryotes, absorptive nutrition

multicellular, walled eukaryotic cells, photoautotrophs



multicellular, wall-less eukaryotes, ingestive nutrition

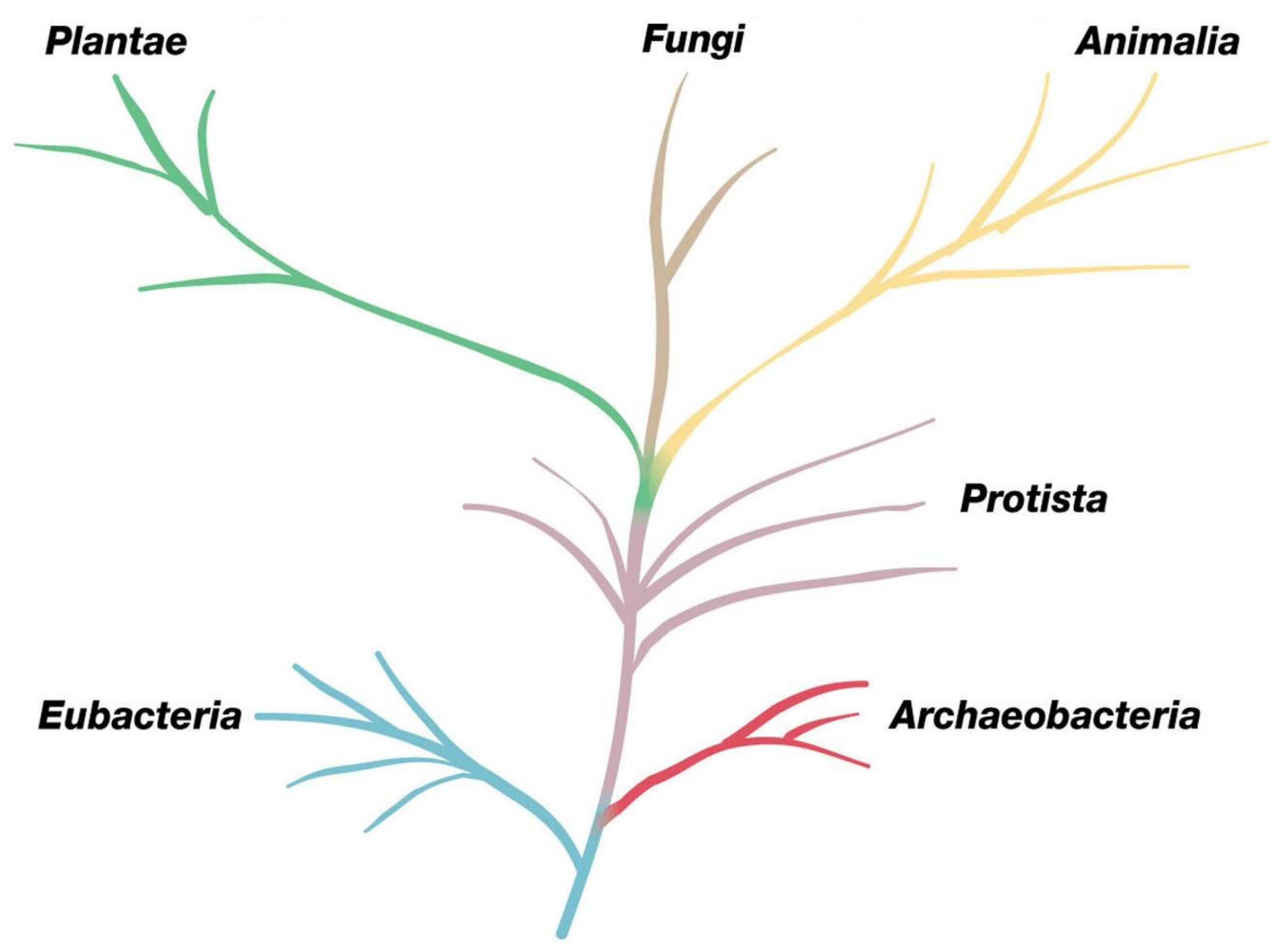
unicellular eukaryotes, varied types of nutrition

all procaryotes

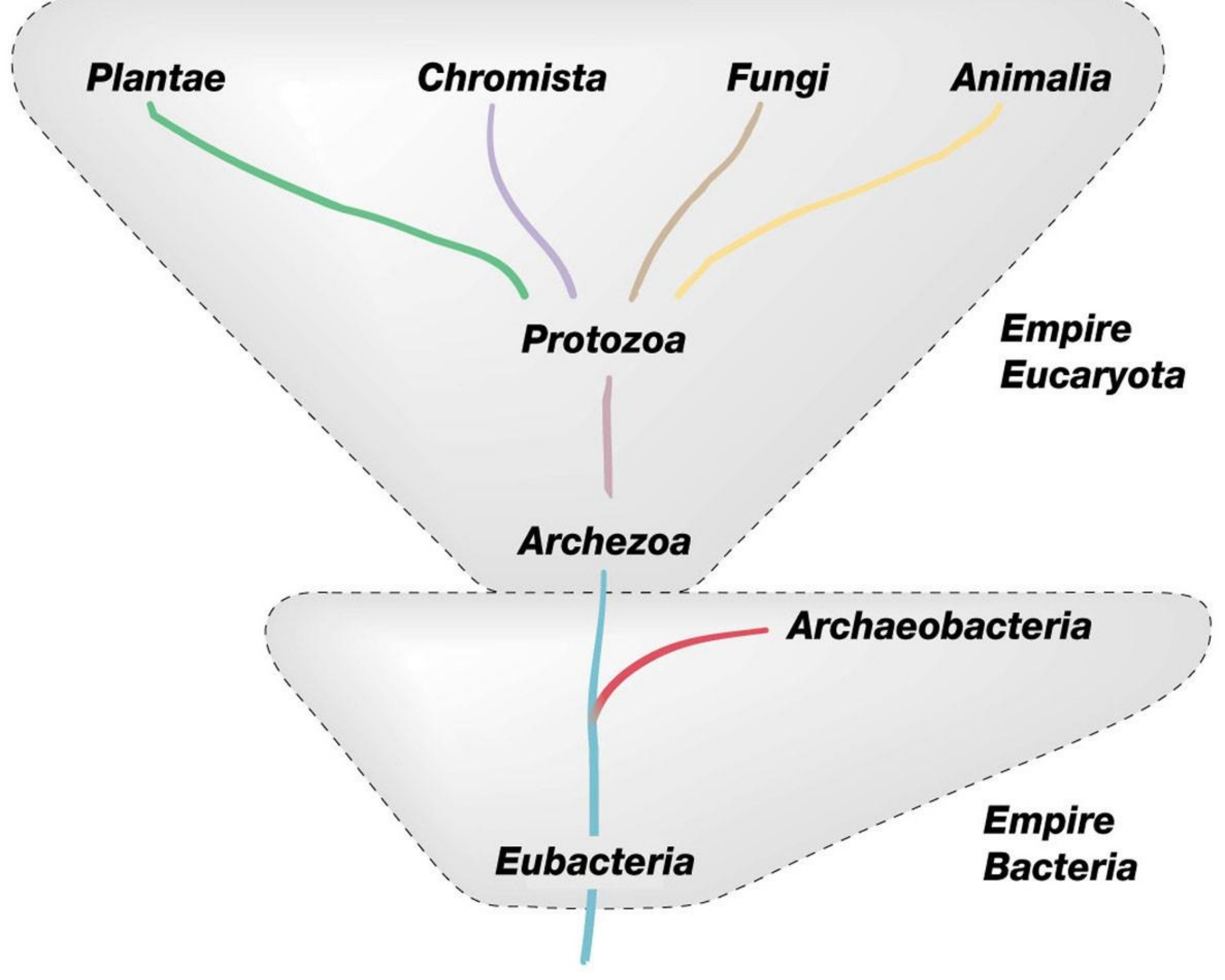
No longer accepted

- major problem is lack of distinction between archaea and bacteria
- kingdom Protista is too diverse to be taxonomically useful
- the boundaries between kingdoms *Protista, Plantae and Fungi* are ill-defined

Six-Kingdom System divides *Procaryotae* (*Monera*) into the *Eubacteria* and *Archaeobacteria*



Eight-Kingdom System divides all organisms into two empires and eight kingdoms



Классификация ведется на основе *сравнения биомолекул*, которые выделяют в 3 класса:

- – *семантиды* (первичные семантиды – ДНК, вторичные – РНК, третичные – белки) –это носители генотипической информации (первичная структура рассматривается как исторический документ эволюции и используется для выяснения эволюционных связей)
- – *эписемантиды* – молекулы, синтезируемые при участии третичных семантид (метаболиты, АТФ, пигменты, коферменты, тп.)
- – *асемантические* молекулы – не синтезируются данным организмом и не несут информации о нем (экзогенные витамины, фосфат, кислород, вирусные компоненты).

- Для современной классификации используют только семантиды

Требования к надежному филогенетическому маркеру (последовательности-хронометры):

.

- 1-универсальность (есть у всех)
- 2-гомологичность и ортологичность, т.е. не только происходят от общего предка, но и функционально постоянны, и т.о. давление отбора сходно при сходстве функций
- 3- генетически стабильны (гены «домашнего хозяйства», обеспечивают основу жизнедеятельности), при этом возможность горизонтального переноса оценивается анализом химерных признаков.

Ribosomal RNA

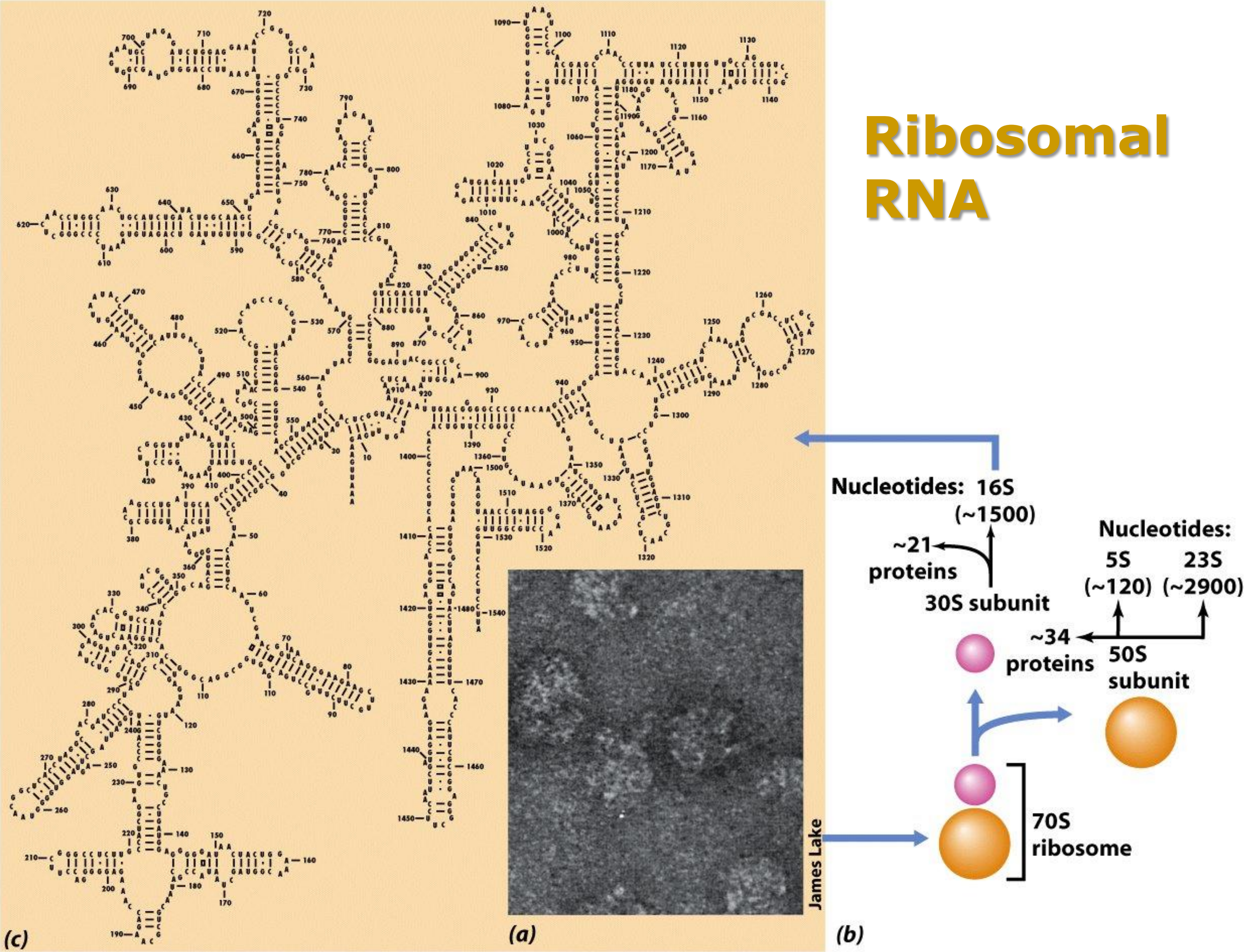


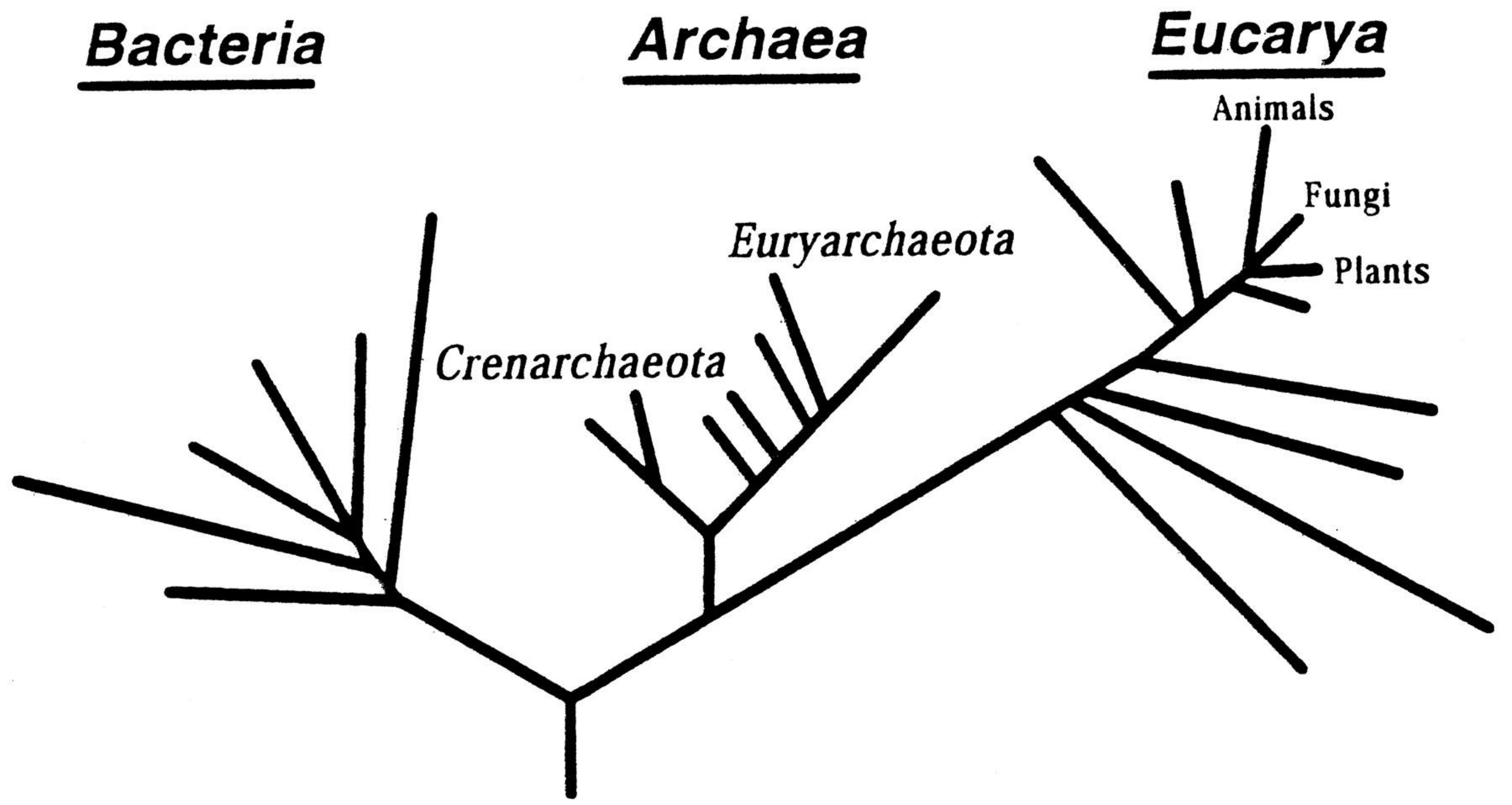
Figure 11-11 Brock Biology of Microorganisms 11/e

© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

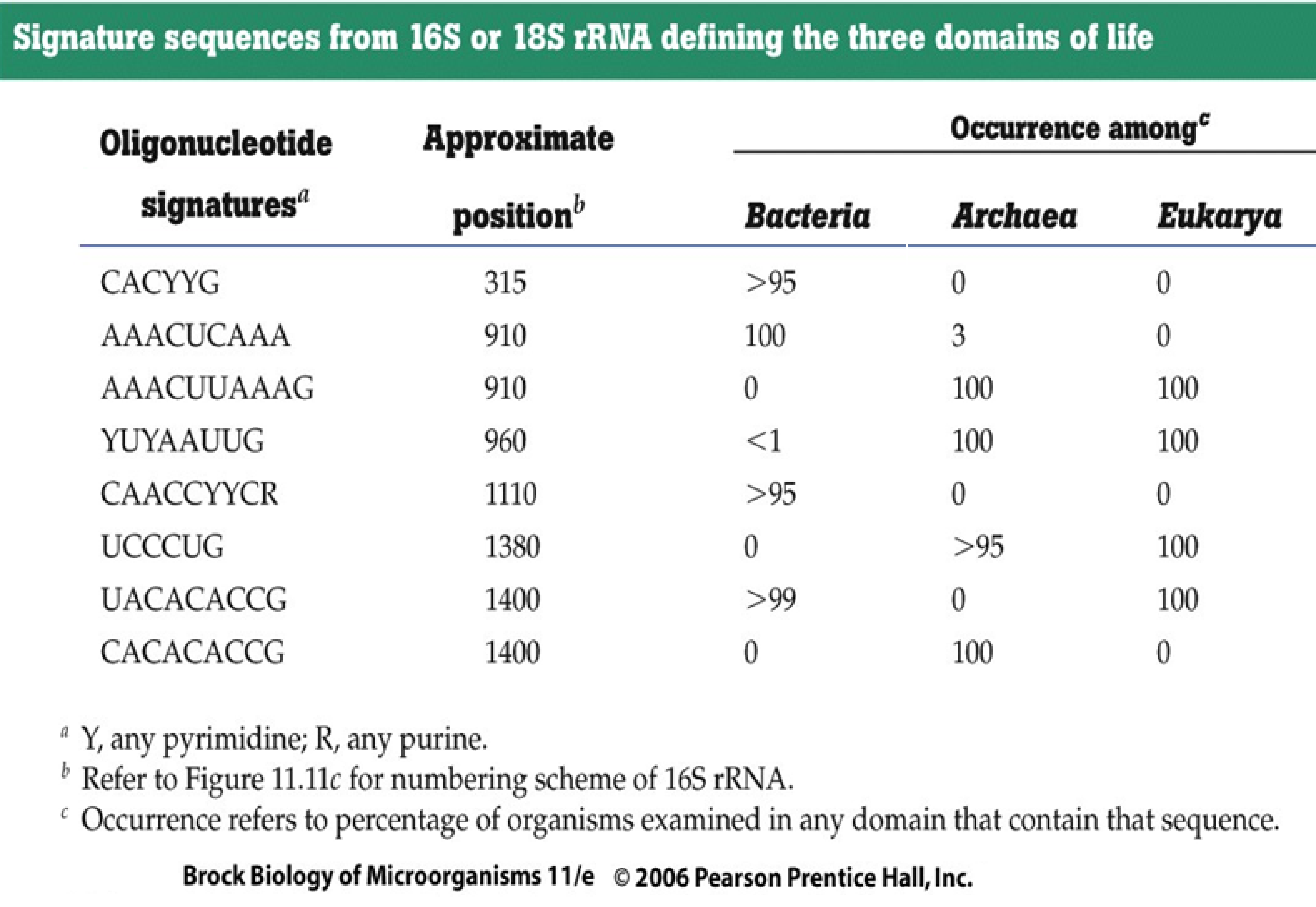
- В 1990 г. введена глобальная классификация, где введена концепция *домена жизни*.
- Таксон домена был предложен как более высокий по отношению к царству.
- Archaea (переводится как первый, примитивный, в данном случае по отношению к эукариотам), Bacteria, Eukarya.

Universal Phylogenetic Tree

three domains of life: Bacteria; Archaea; Eucarya



The three-domain proposal based on the ribosomal RNA tree. Woese et al. PNAS. 87:4576-4579. (1990)



Signature sequences from 16S or 18S rRNA defining the three domains of life

Oligonucleotide signatures[a]	Approximate position[b]	Occurrence among[c]		
		Bacteria	*Archaea*	*Eukarya*
CACYYG	315	>95	0	0
AAACUCAAA	910	100	3	0
AAACUUAAAG	910	0	100	100
YUYAAUUG	960	<1	100	100
CAACCYYCR	1110	>95	0	0
UCCCUG	1380	0	>95	100
UACACACCG	1400	>99	0	100
CACACACCG	1400	0	100	0

[a] Y, any pyrimidine; R, any purine.

[b] Refer to Figure 11.11*c* for numbering scheme of 16S rRNA.

[c] Occurrence refers to percentage of organisms examined in any domain that contain that sequence.

Brock Biology of Microorganisms 11/e © 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

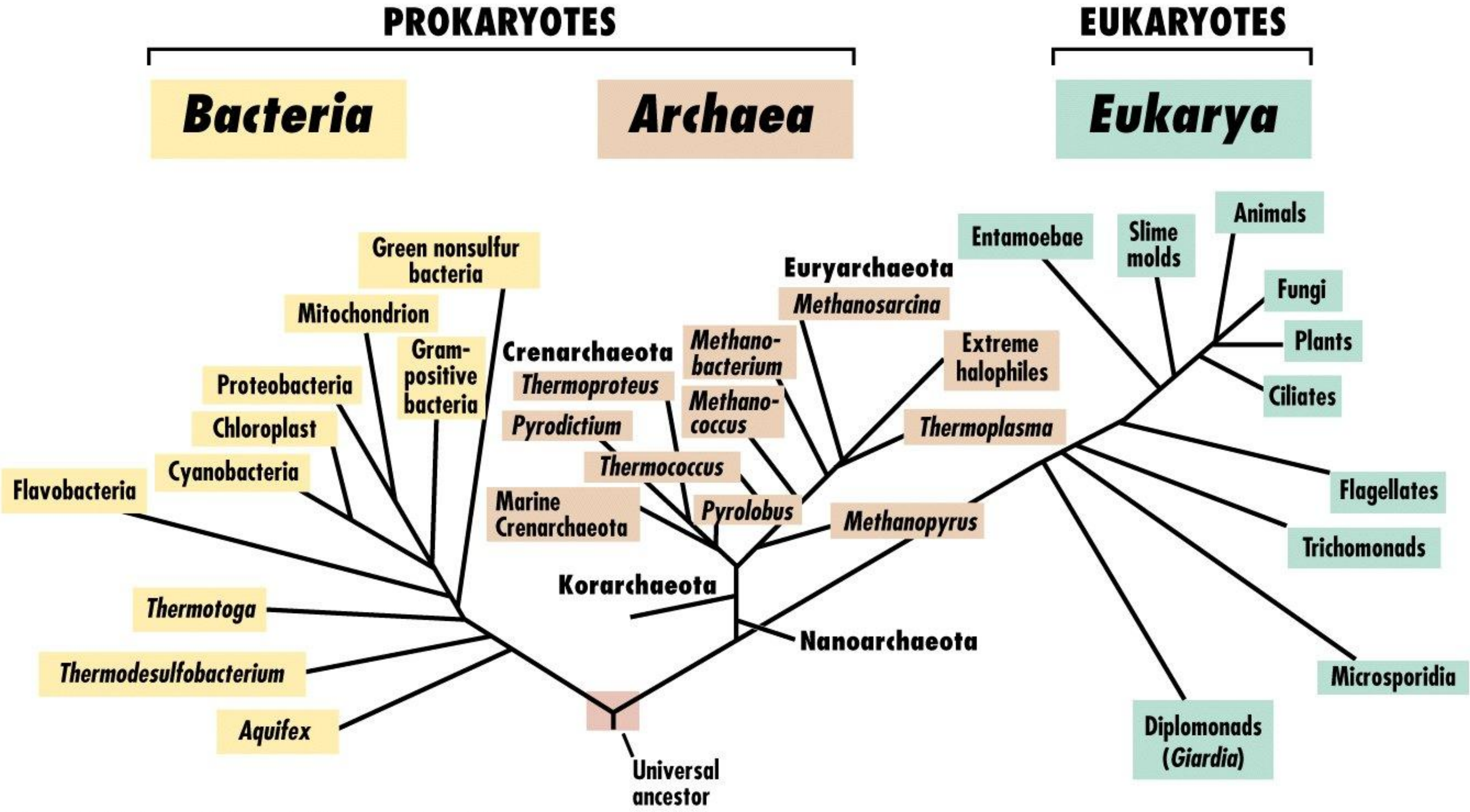
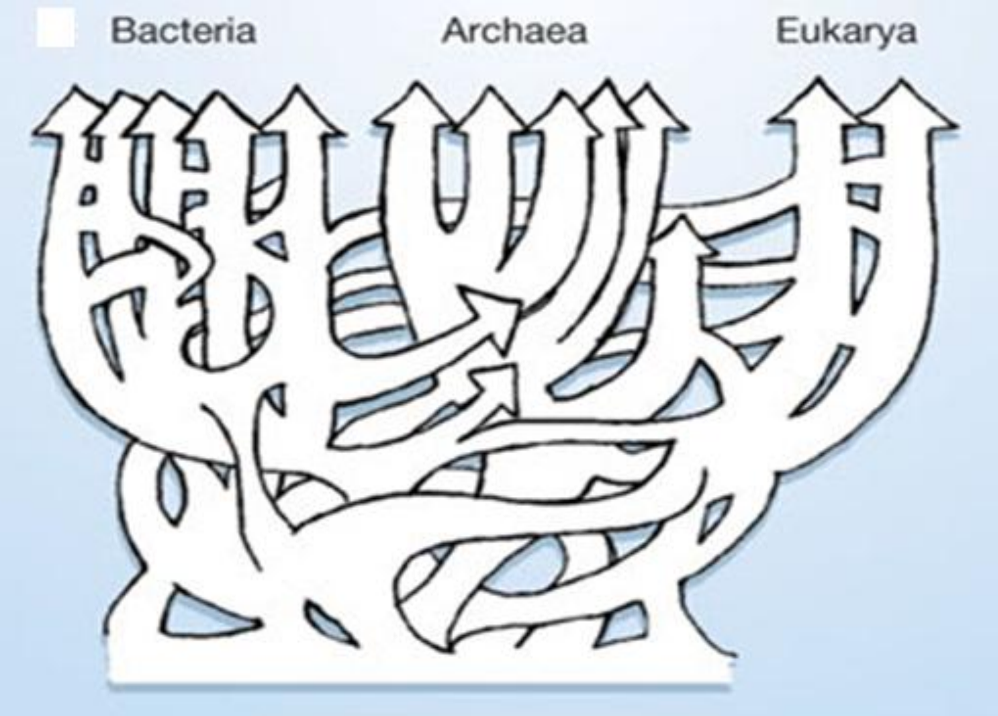


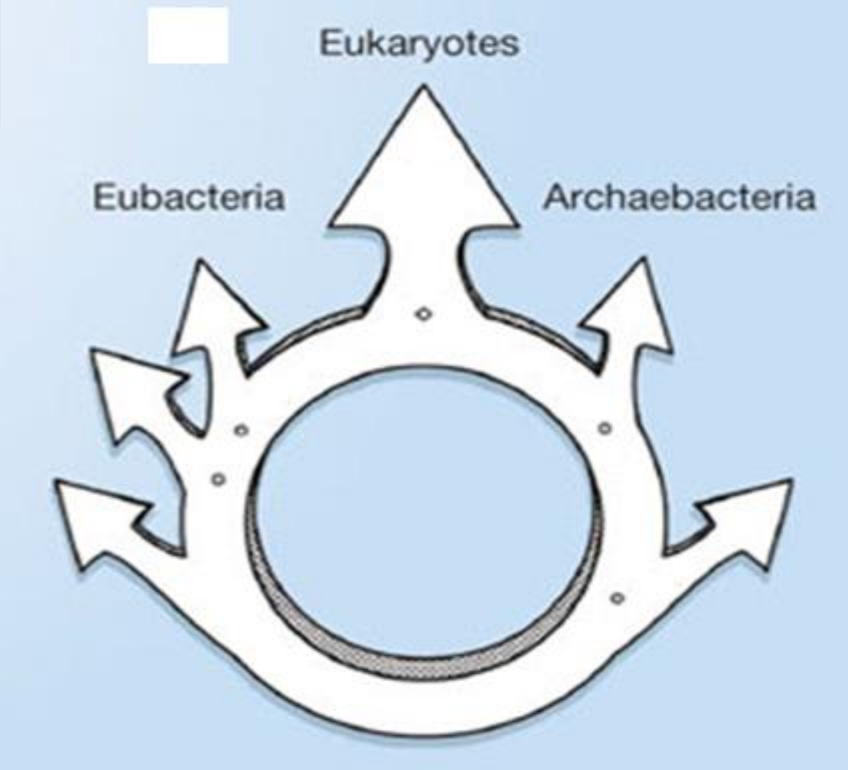
Figure 11-16 Brock Biology of Microorganisms 11/e

© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.



The three-domain proposal, with continuous lateral gene transfer among domains. Doolittle Science 284:2124-2128. (1999)

The ring of life, incorporating lateral gene transfer but preserving the prokaryote–eukaryote divide. Rivera MC and Lake JA. Nature 431: 152-155. (2004)



Характеристики, которые выявляют отличия между доменами:

- Морфологические, в т.ч. наличие ядра, органелл
- Организация поверхностного аппарата, в т.ч. структура мембран и клеточных стенок
- Организация генетического материала (хроматин, роль белков, структура генов)
- Репликация и деление клетки
- Экспрессия генов, в т.ч. ферменты транскрипции, промоторы
- Синтез белка: структура рибосом, генет.код
- Чувствительность к антибиотикам
- Процессинг РНК, модификация белков
- Метаболизм, в т.ч. разнообразие энергетических стратегий, катаболическая и синтетическая активность
- Межклеточные взаимодействия, многоклеточность

Table 11.3 Summary of major differential features among *Bacteria*, *Archaea*, and *Eukarya*[a]

Characteristic	*Bacteria*	*Archaea*	*Eukarya*
Morphological and Genetic			
Prokaryotic cell structure	Yes	Yes	No
DNA present in covalently closed and circular form	Yes	Yes	No
Histone proteins present	No	Yes	Yes
Membrane-enclosed nucleus	Absent	Absent	Present
Cell wall	Muramic acid present	Muramic acid absent	Muramic acid absent
Membrane lipids	Ester-linked	Ether-linked	Ester-linked
Ribosomes (mass)	70S	70S	80S
Initiator tRNA	Formylmethionine	Methionine	Methionine
Introns in most genes	No	No	Yes
Operons	Yes	Yes	No
Capping and poly-A tailing of mRNA	No	No	Yes
Plasmids	Yes	Yes	Rare
Ribosome sensitivity to diphtheria toxin	No	Yes	Yes
RNA polymerases (see Figure 11.19)	One (4 subunits)	Several (8–12 subunits each)	Three (12–14 subunits each)
Transcription factors required (Section 7.11)	No	Yes	Yes
Promoter structure (Sections 7.10 and 7.11)	−10 and −35 sequences (Pribnow box)	TATA box	TATA box
Sensitivity to chloramphenicol, streptomycin, and kanamycin	Yes	No	No

---

[a] Note that for many features only particular representatives within a domain show the property.

[b] Environmental genomics studies of prokaryotes in marine waters strongly suggest that nitrifying *Archaea* exist (Section 18.6).

Table 11-3 part 1 Brock Biology of Microorganisms 11/e

© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

Признак	Бактерии	Археи	Эукариоты
Уровень организации	Прокариотич.	Прокариотич.	эукариотическая
Хромосомы	1 кольцевая или линейная (или несколько)	1 кольцевая	Несколько линейных
Опероны	+	+	–
Промоторы	-10 (TATAAT)	-25, AT-богат.	TATA-боксы и др.
Гены рРНК	Общий транскрипт	Аналог.бактериям, исключ	Общий транскрипт без 5S
Размеры рРНК	16S, 23S, 5S	16S, 23S, 5S	18S, 28S, 5,8S, 5S
РНК-полимеразы	1 основной + разные σ с/е	1 фермент	3 для разных генов
Кэпированные мРНК	–	У нек. Присут.	Присутствуют
5′-лидерные области в мРНК	+	?короткие или отсутст.	+
3′-поли-А-хвосты	– или нестабил	?отсутствуют	Обычно +
Размеры рибосом	70S	70S	80S
Чувствительность 30S рибосом к антибиотикам	Хлорамфеникол и др.	–	Циклогексимид
Чувствительность к дифтерийному токсину	–	+	+
Инициаторная тРНК	формилМет	Мет	Мет

Рибосомы

- *У эукариот 80S= 60S (25-28S+5,8S+5S+49prot)+40S(18S+33prot)*
- У прокариот 70S = 50S *(5S+23S+34prot)*+ 30S *(16S+21prot)*

Sensitivity of representatives of the three domains to various protein synthesis inhibitors[a]

		Archaea		*Bacteria*	*Eukarya*
Antibiotics	**Mode of action**	**Cren archaeota**	**Eury archaeota**	***Escherichia coli***	***Saccharomyces cerevisiae***
Fusidic acid, sparsomycin	Inhibits elongation steps	−	+	+	+
Anisomycin, narciclasine	Inhibits peptidyl transfer	−	+	−	+
Cycloheximide	Blocks initiation	−	−	−	+
Erythromycin, streptomycin, chloramphenicol	Increases error frequencies and other effects	−	−	+	−
Virginiamycin, pulvomycin	Inhibits elongation steps	−	+	+	−
Neomycin, puromycin	Causes premature termination	+	+	+	+
Rifamycin	Inhibits β subunit of RNA polymerase	−	−	+	−

[a] A + indicates that protein synthesis (and growth) is inhibited.

Table 11-2 Brock Biology of Microorganisms 11/e

© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

Table 11.3 Summary of major differential features among *Bacteria*, *Archaea*, and *Eukarya*[a]

Characteristic	***Bacteria***	***Archaea***	***Eukarya***
Physiological/Special Structures			
Methanogenesis	No	Yes	No
Dissimilative reduction of S^0 or SO_4^{2-} to H_2S, or Fe^{3+} to Fe^{2+}	Yes	Yes	No
Nitrification	Yes	No[b]	No
Denitrification	Yes	Yes	No
Nitrogen fixation	Yes	Yes	No
Chlorophyll-based photosynthesis	Yes	No	Yes (in chloroplasts)
Rhodopsin-based energy metabolism	Yes	Yes	No
Chemolithotrophy (Fe, S, H_2)	Yes	Yes	No
Gas vesicles	Yes	Yes	No
Synthesis of carbon storage granules composed of poly-β-hydroxyalkanoates	Yes	Yes	No
Growth above 80° C	Yes	Yes	No
Growth above 100°C	No	Yes	No

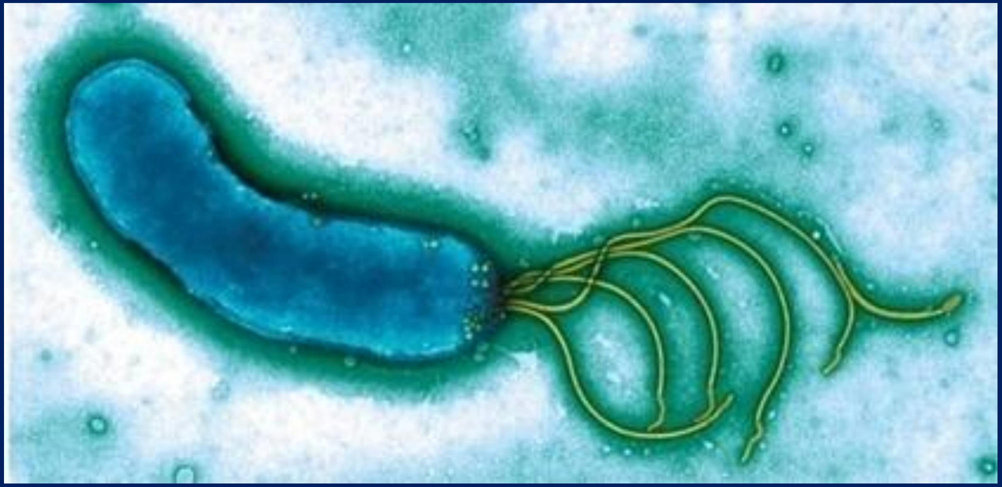
[a] Note that for many features only particular representatives within a domain show the property.

[b] Environmental genomics studies of prokaryotes in marine waters strongly suggest that nitrifying *Archaea* exist (Section 18.6).

Table 11-3 part 2 Brock Biology of Microorganisms 11/e

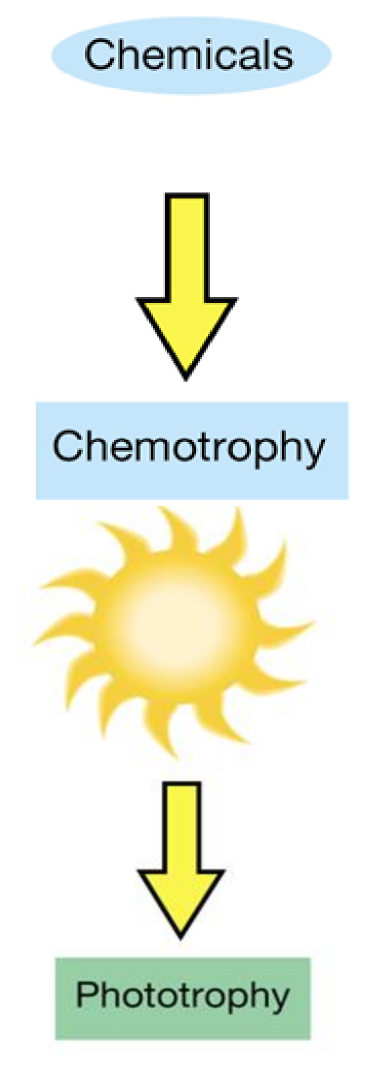
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

Энергетика клеток: разнообразие стратегий



с/к «Биохимия клетки»
Лекция 1-2

Классификация типов метаболизма по источникам энергии, электронов и углерода



Chemical energy => **chemo**trophy	**Inorganic** (CO_2) **carbon** source => **auto**trophy	**Inorganic** H/ e^- donor => **litho**trophy
	Organic **carbon** source => **hetero**trophy	**Organic** H/ e^- donor => **organo**trophy
Light energy => **photo**trophy	**Inorganic** (CO_2) **carbon** source => **auto**trophy	**Inorganic** H/ e^- donor => **litho**trophy
	Organic **carbon** source => **hetero**trophy	**Organic** H/ e^- donor => **organo**trophy

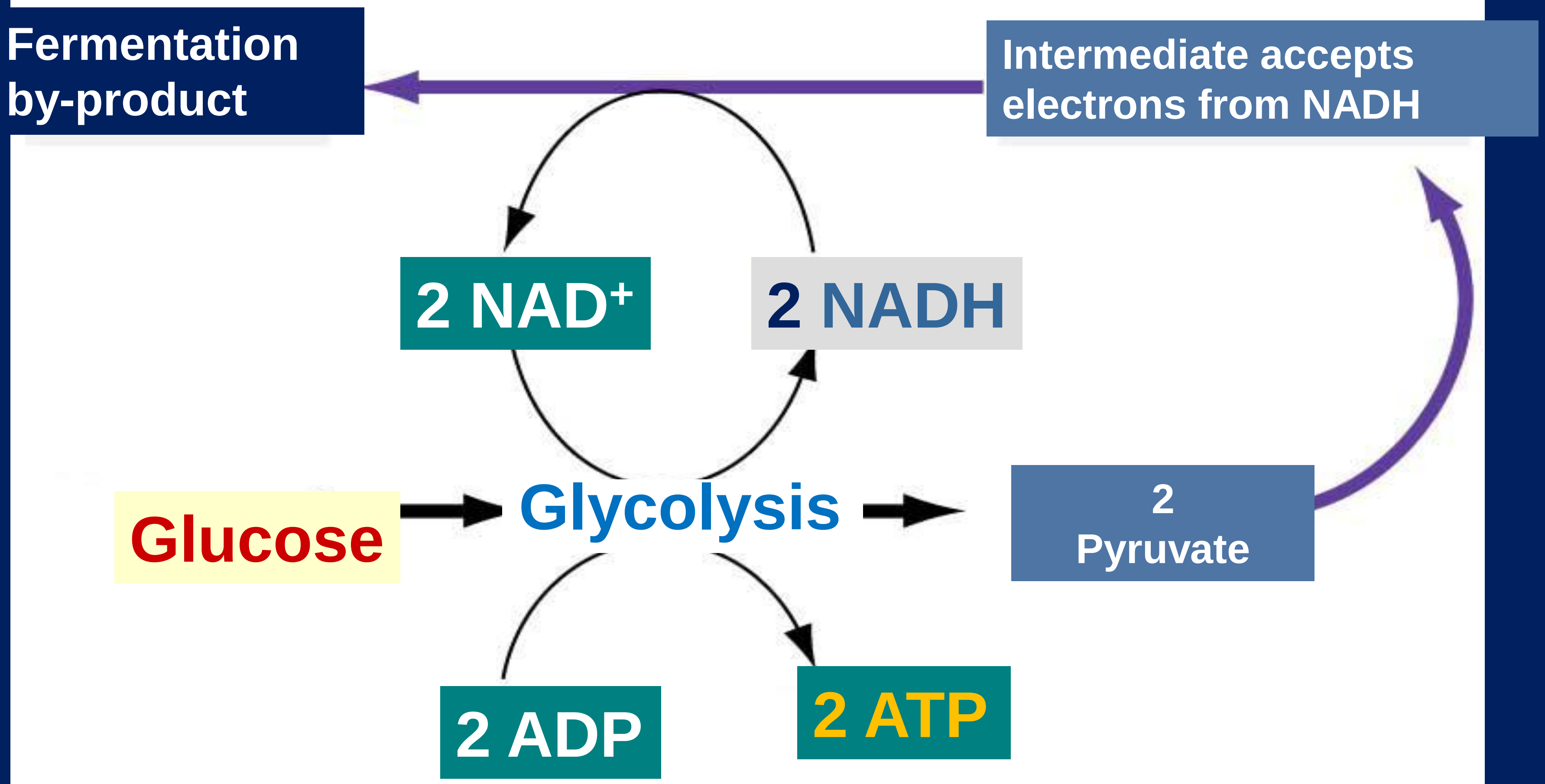
Локализация энергетических процессов

	Хемотрофия		**Фототрофия**
Ассимиляция энергии	в виде химич. потенциала субстрата	в виде трансмембранного электрохимического потенциала	
Процесс, обеспечивающий энергией	Субстратное фосфорилир-е; превращение тиоэфиров (КоА)/ *брожение*	Окислительное фосфорилирование/ *дыхание*	Фотосинтез
Локализация энергетических процессов	Цитозольные реакции (дегидрогеназы)	Мембранные системы ЭТЦ (цитохромы, Fe-S-центры, хиноны)	

<table>
<tr><td></td><td colspan="10">ХЕМОТРОФИЯ</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">Хемоорганотрофы</td><td colspan="5">Хемолитотрофы</td></tr>
<tr><td>Источник С</td><td colspan="5">Органические соед-я</td><td colspan="5">CO_2</td></tr>
<tr><td>Донор электронов</td><td colspan="5">Органические соед-я</td><td>H_2S / S</td><td>NH_3</td><td>NO_2</td><td colspan="2">H_2</td></tr>
<tr><td>Акцептор электронов</td><td>Органич. соединения</td><td>NO_3-</td><td>NO_2-</td><td>SO_4^{2-}</td><td>O_2</td><td colspan="4">O_2</td><td>CO_2</td></tr>
<tr><td>Обмен</td><td colspan="4">Анаэробный</td><td colspan="5">Аэробный</td><td>Анаэроб</td></tr>
<tr><td>Ассимиляция энергии</td><td>в виде химич. потенциала субстрата</td><td colspan="9">в виде трансмембранного электрохимического потенциала</td></tr>
<tr><td>Локализация</td><td>Цитозольные реакции (ДГ)</td><td colspan="9">Мембранные системы ЭТЦ
(цитохромы, Fe-S-центры, хиноны)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Синтез АТФ</td><td>субстратное фосфорил-е; превращение тиоэфиров</td><td colspan="9">Окислительное фосфорилирование</td></tr>
<tr><td>Брожение</td><td colspan="9">Дыхание (анаэробное и аэробное)</td></tr>
</table>

	ХЕМОТРОФИЯ								
	Хемоорганотрофы					**Хемолитотрофы**			
Источник С	Органические соед-я					CO_2			
Донор электронов	Органические соед-я					H_2S / S	NH_3	NO_2	H_2
Акцептор электронов	Органич. соединения	NO_3-	NO_2-	SO_4^{2-}	O_2	O_2			CO_2
Обмен	Анаэробный				Аэробный				Анаэроб
Ассимиляция энергии	в виде химич. потенциала субстрата	в виде трансмембранного электрохимического потенциала							
Локализация	Цитозольные реакции (ДГ)	Мембранные системы ЭТЦ (цитохромы, Fe-S-центры, хиноны)							
Синтез АТФ	субстратное фосфорил-е; превращение тиоэфиров	Окислительное фосфорилирование							
	Брожение	**Дыхание (анаэробное и аэробное)**							

FERMENTATION PATHWAYS ALLOWS CELLS TO REGENERATE NAD^+ FOR GLYCOLSIS



Fermentation by-product

Intermediate accepts electrons from NADH

2 NAD^+

2 NADH

Glucose

Glycolysis

2 Pyruvate

2 ADP

2 ATP

3 типа гликолитических путей у прокариот:

- Эмбдена-Мейерхофа (окисление глюкозы через фруктозодифосфат, единственный для эукариот, есть у части бактерий)
- Энтнера-Дудорова классический или фосфорилированный (через фосфоглюконат)
- Энтнера-Дудорова нефосфорилированный (через глюконат)

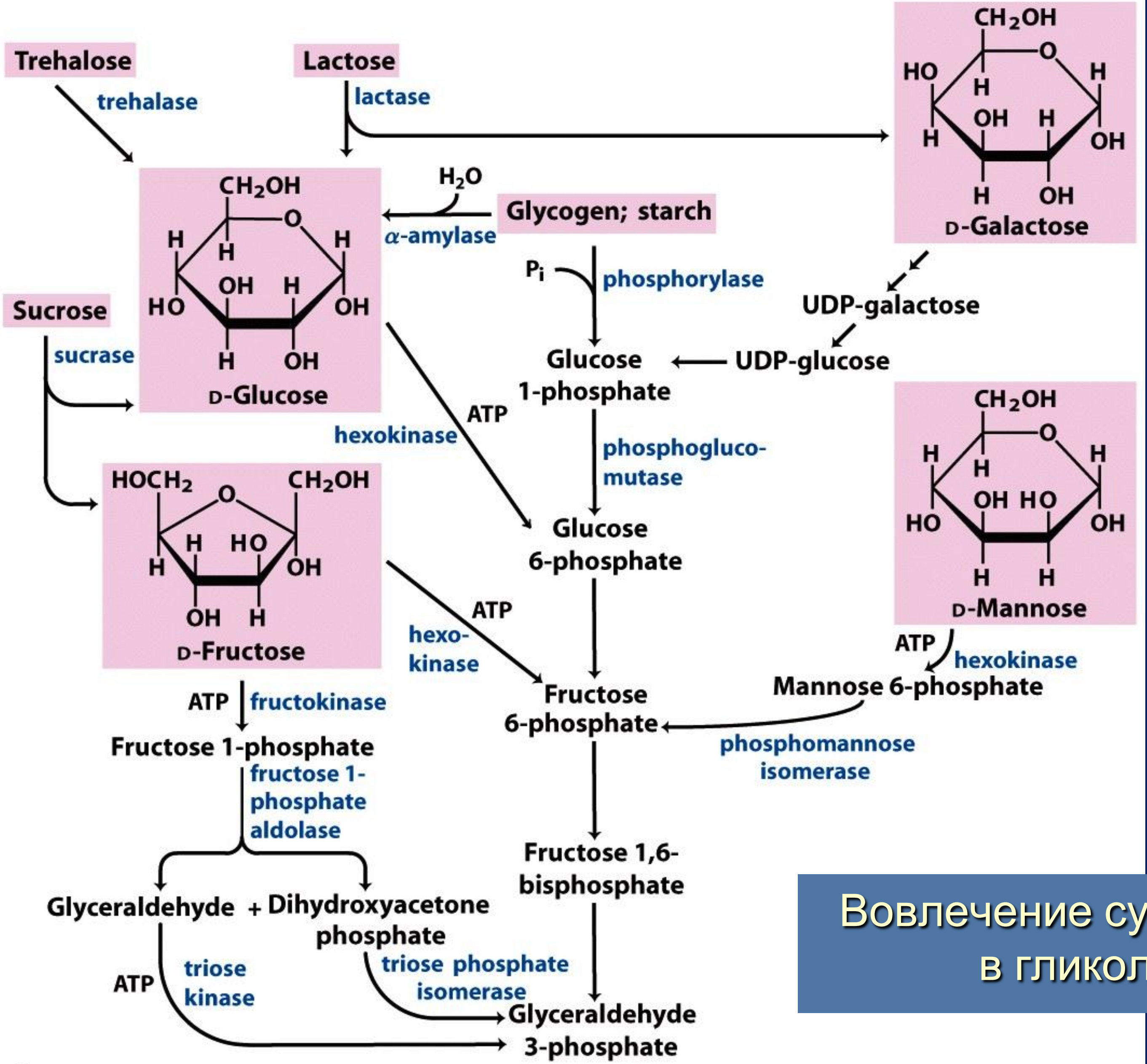
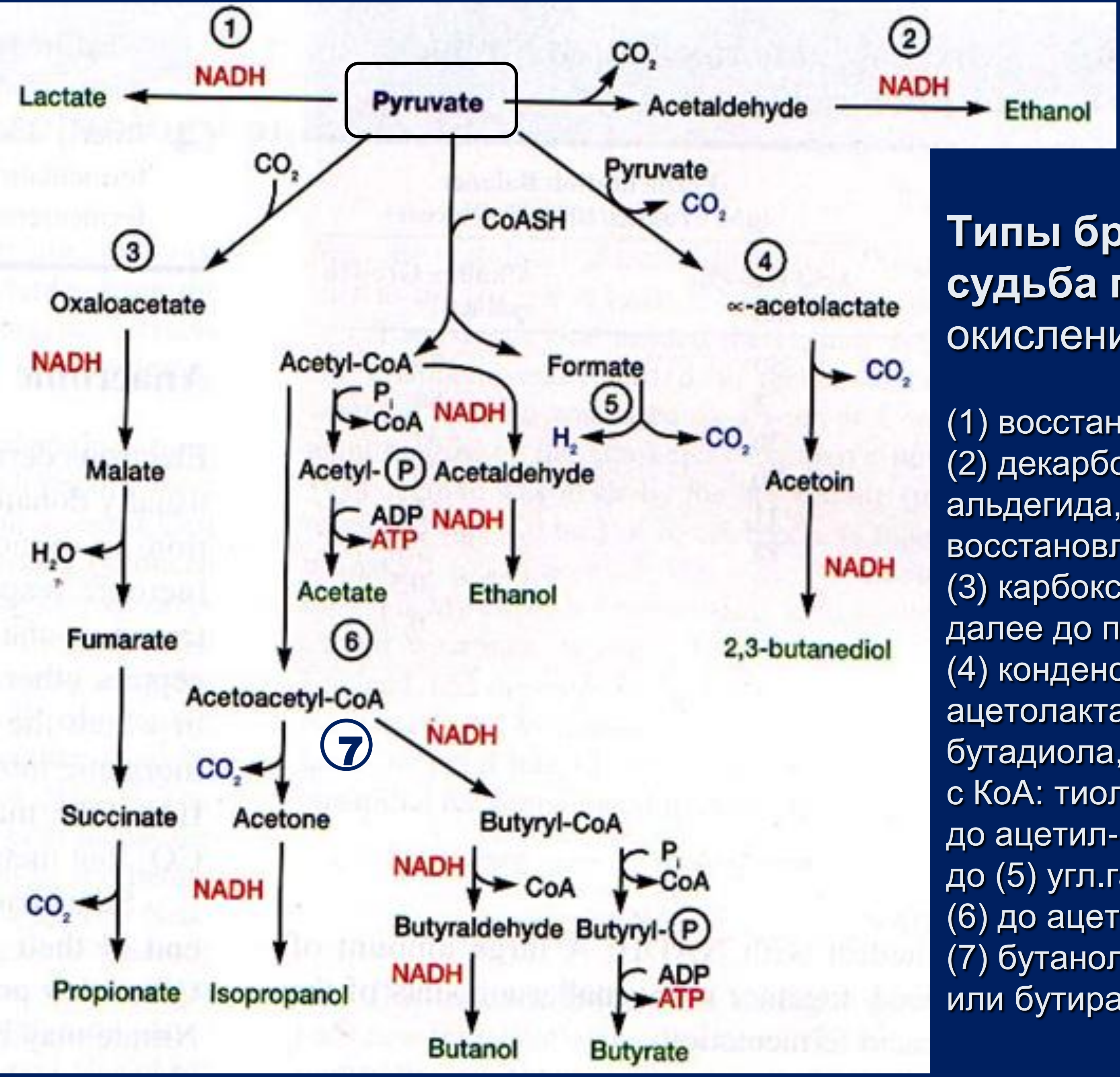


Figure 14-10

Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition

© 2008 W. H. Freeman and Company

Вовлечение субстратов в гликолиз



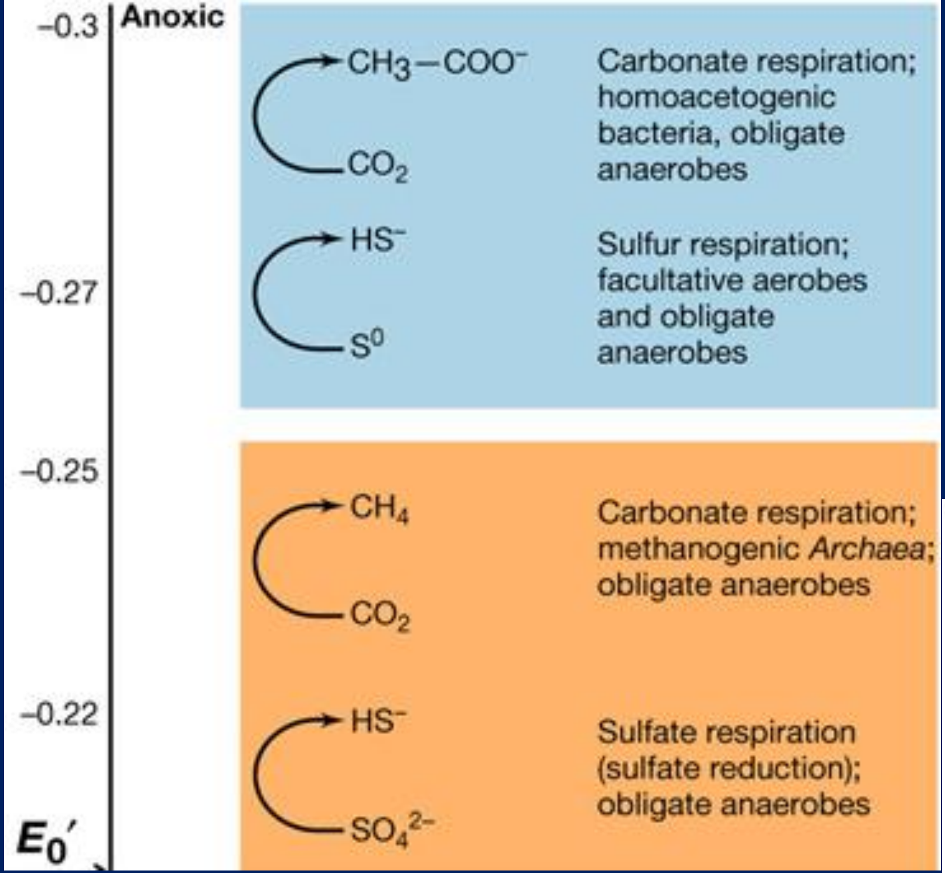
Типы брожения = судьба пирувата (для окисления NADH)

(1) восстановление до лактата,
(2) декарбоксилирование до альдегида, далее восстановление до этанола
(3) карбоксилирование до ОА, далее до пропионата
(4) конденсация до ацетолактата и далее – до бутадиола,
с КоА: тиолазное расщепление до ацетил- + формиат, далее до (5) угл.газа, или
(6) до ацетата, а также до
(7) бутанола, изопропанола или бутирата

<table>
<tr><th></th><th colspan="10">ХЕМОТРОФИЯ</th></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">Хемоорганотрофы</td><td colspan="5">Хемолитотрофы</td></tr>
<tr><td>Источник С</td><td colspan="5">Органические соед-я</td><td colspan="5">CO_2</td></tr>
<tr><td>Донор электронов</td><td colspan="5">Органические соед-я</td><td>H_2S / S</td><td>NH_3</td><td>NO_2</td><td colspan="2">H_2</td></tr>
<tr><td>Акцептор электронов</td><td>Органич. соединения</td><td>NO_3-</td><td>NO_2-</td><td>SO_4^{2-}</td><td>O_2</td><td colspan="4">O_2</td><td>CO_2</td></tr>
<tr><td>Обмен</td><td colspan="4">Анаэробный</td><td colspan="5">Аэробный</td><td>Анаэроб</td></tr>
<tr><td>Ассимиляция энергии</td><td>в виде химич. потенциала субстрата</td><td colspan="9">в виде трансмембранного электрохимического потенциала</td></tr>
<tr><td>Локали-зация</td><td>Цитозольные реакции (ДГ)</td><td colspan="9">Мембранные системы ЭТЦ (цитохромы, Fe-S-центры, хиноны)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Синтез АТФ</td><td>субстратное фосфорил-е; превращение тиоэфиров</td><td colspan="9">Окислительное фосфорилирование</td></tr>
<tr><td>Брожение</td><td colspan="9">Дыхание (анаэробное и аэробное)</td></tr>
</table>

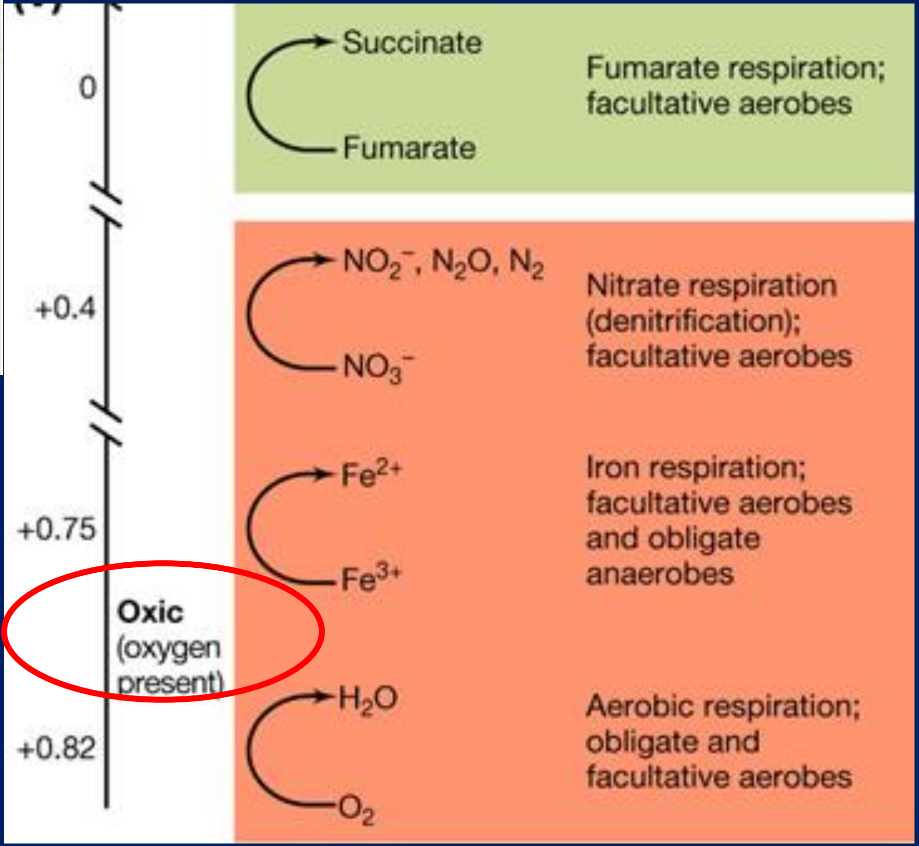
Дыхание : разнообразие

Тип дыхания		**Акцептор е**	**продукт**
Аэробное (=кислородное)		O_2	H_2O
Анаэробное (без O2)	Нитрат/нитритное	NO_3-	NO_2-
	Денитрификация	NO_3-	NO, N_2O, N_2
	Восстановление сульфата или серы	SO_4^{2-} S^0	H_2S
	Метаногенез	CO_2	CH_4
	Восстановление металлов (железо, марганец, хром)	Fe^{3+} Mn^{4+}, Cr^{6+}	Fe^{2+} Mn^{3+}, Cr^{5+}
	Органические соединения	Fumarate, DMSO, TMAO	Восстановленные соединения

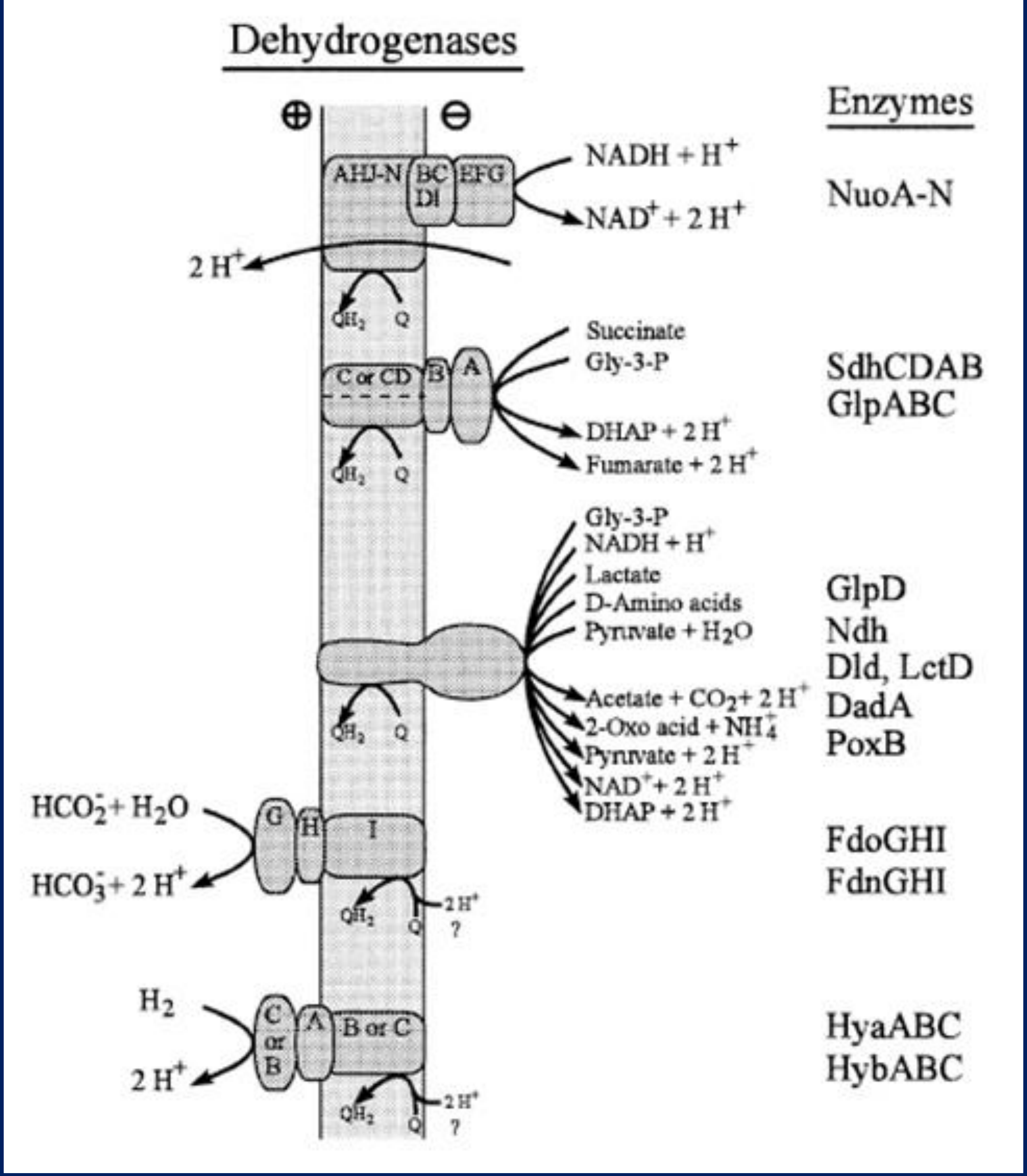

–0.3
Anoxic
CH_3-COO^-
CO_2
Carbonate respiration; homoacetogenic bacteria, obligate anaerobes
–0.27
HS^-
S^0
Sulfur respiration; facultative aerobes and obligate anaerobes
–0.25
CH_4
CO_2
Carbonate respiration; methanogenic *Archaea*; obligate anaerobes
–0.22
HS^-
SO_4^{2-}
Sulfate respiration (sulfate reduction); obligate anaerobes
E_0'

- Облигатные анаэробы

- Факультативные и облигатные аэробы

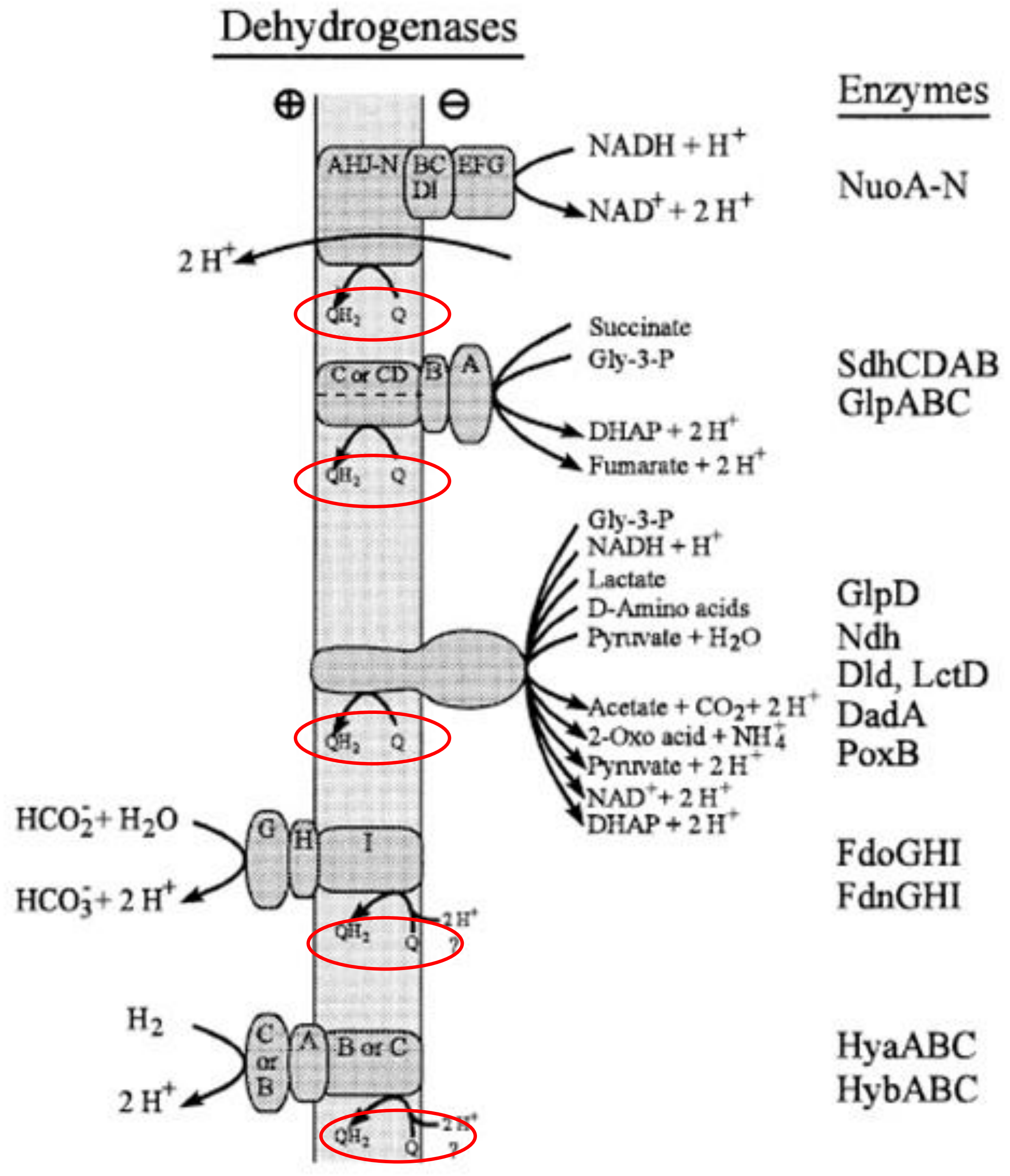

0
Succinate
Fumarate
Fumarate respiration; facultative aerobes
+0.4
NO_2^-, N_2O, N_2
NO_3^-
Nitrate respiration (denitrification); facultative aerobes
+0.75
Fe^{2+}
Fe^{3+}
Iron respiration; facultative aerobes and obligate anaerobes
Oxic (oxygen present)
+0.82
H_2O
O_2
Aerobic respiration; obligate and facultative aerobes

Модульное строение начальных участков ЭТЦ

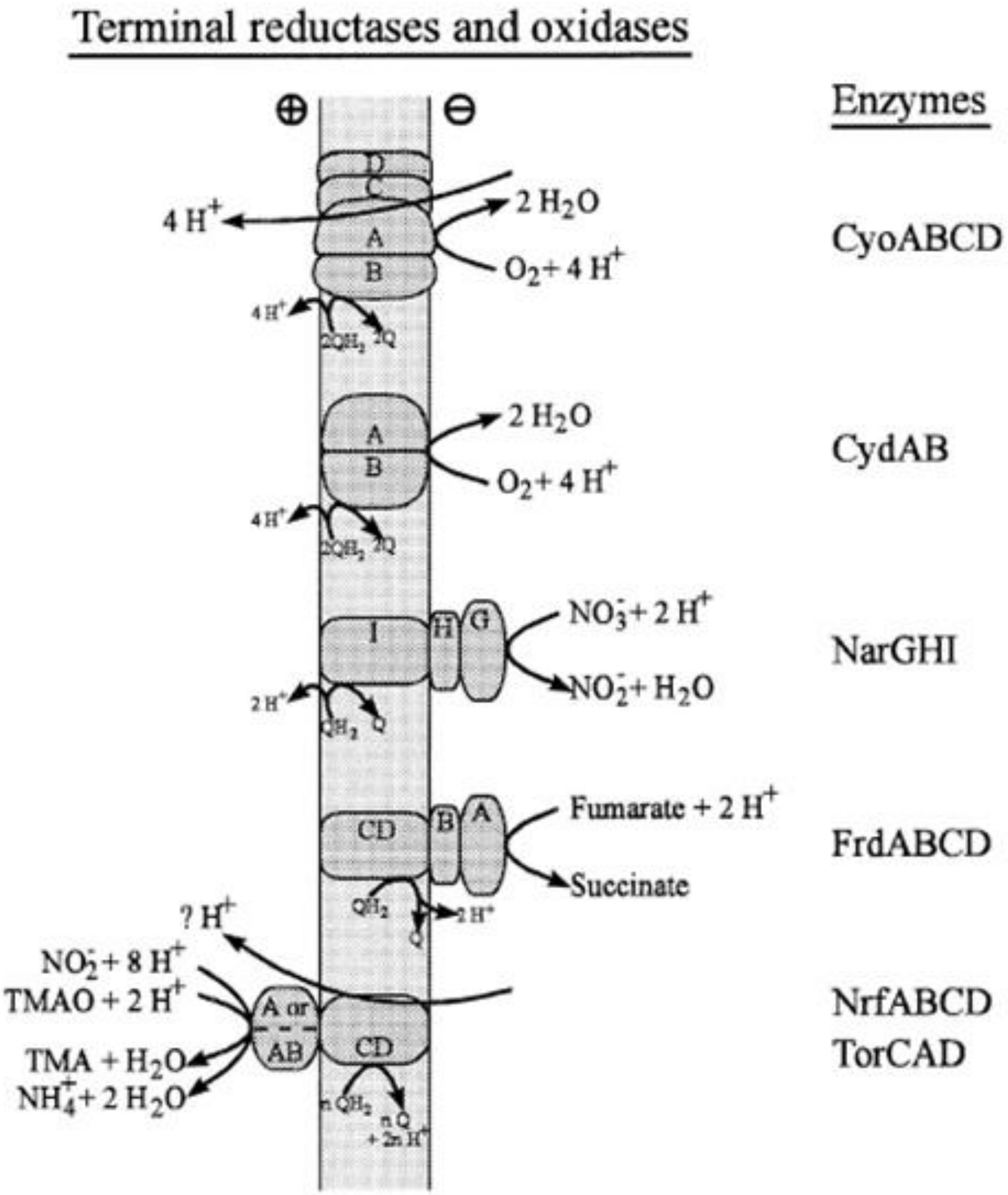


Модульное строение начальных участков ЭТЦ

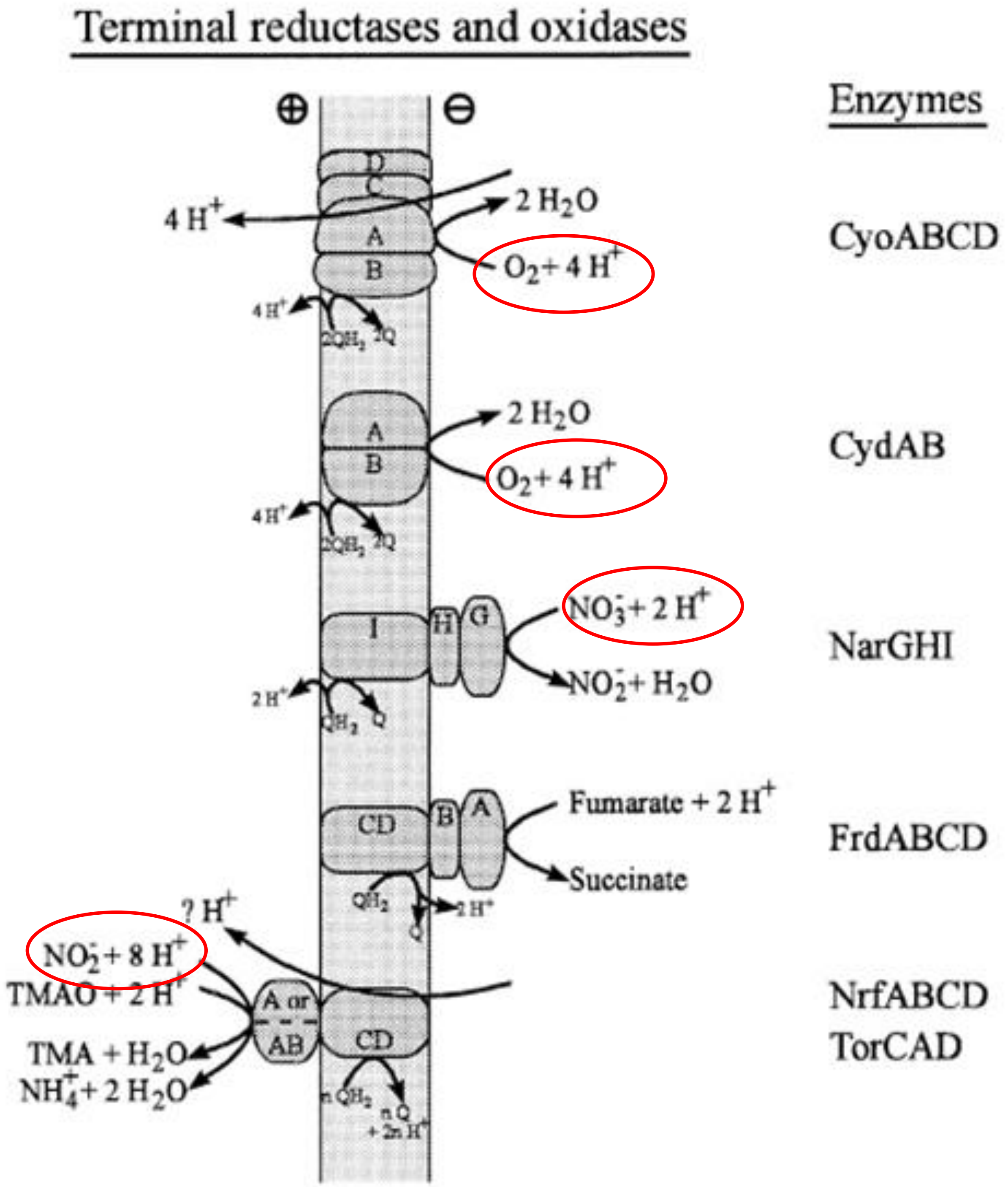
(взаимодействуют с хинонами, разная способность к переносу протонов)



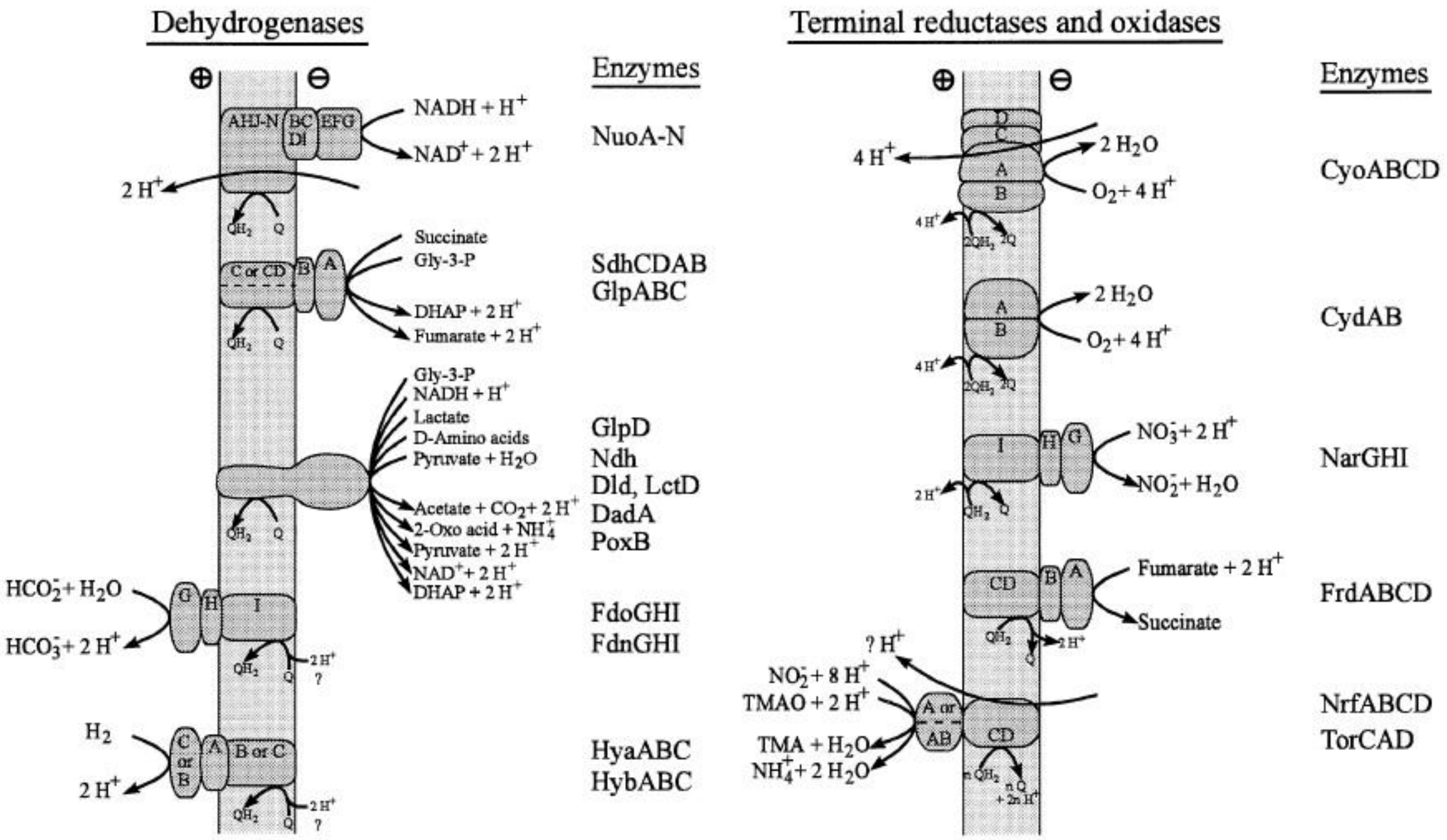
- Модульное строение терминальных участков ЭТЦ



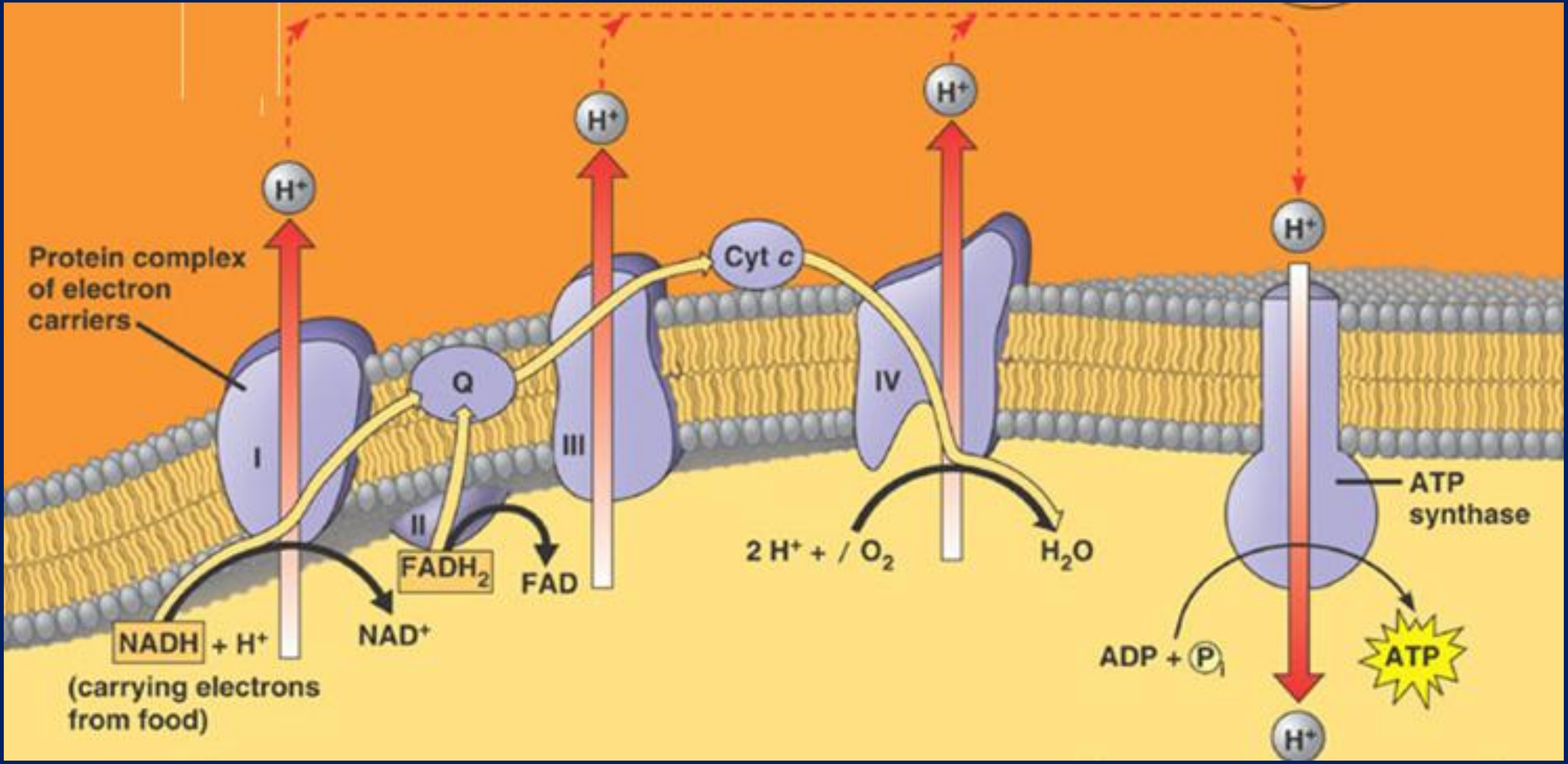
- Модульное строение терминальных участков ЭТЦ (разные акцепторы электронов, разная способность к переносу протона)



Модульное строение начальных (взаимодействуют с хинонами) и терминальных участков ЭТЦ – на примере прокариот



Аэробное дыхание



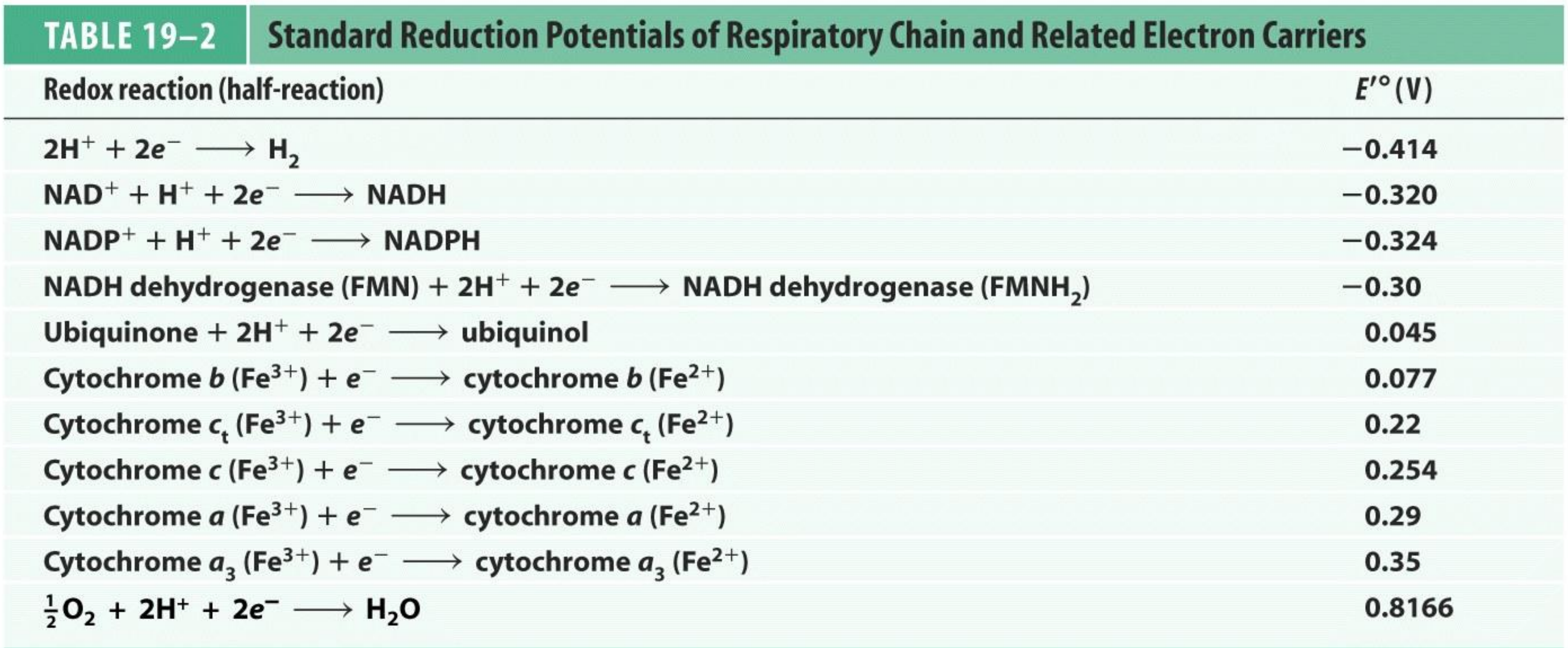


TABLE 19–2 **Standard Reduction Potentials of Respiratory Chain and Related Electron Carriers**

Redox reaction (half-reaction)	E'° (V)
$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$	−0.414
$NAD^+ + H^+ + 2e^- \longrightarrow NADH$	−0.320
$NADP^+ + H^+ + 2e^- \longrightarrow NADPH$	−0.324
NADH dehydrogenase (FMN) + $2H^+ + 2e^- \longrightarrow$ NADH dehydrogenase ($FMNH_2$)	−0.30
Ubiquinone + $2H^+ + 2e^- \longrightarrow$ ubiquinol	0.045
Cytochrome *b* (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome *b* (Fe^{2+})	0.077
Cytochrome c_t (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome c_t (Fe^{2+})	0.22
Cytochrome *c* (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome *c* (Fe^{2+})	0.254
Cytochrome *a* (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome *a* (Fe^{2+})	0.29
Cytochrome a_3 (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome a_3 (Fe^{2+})	0.35
$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O$	0.8166

Table 19-2

Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition

© 2008 W. H. Freeman and Company

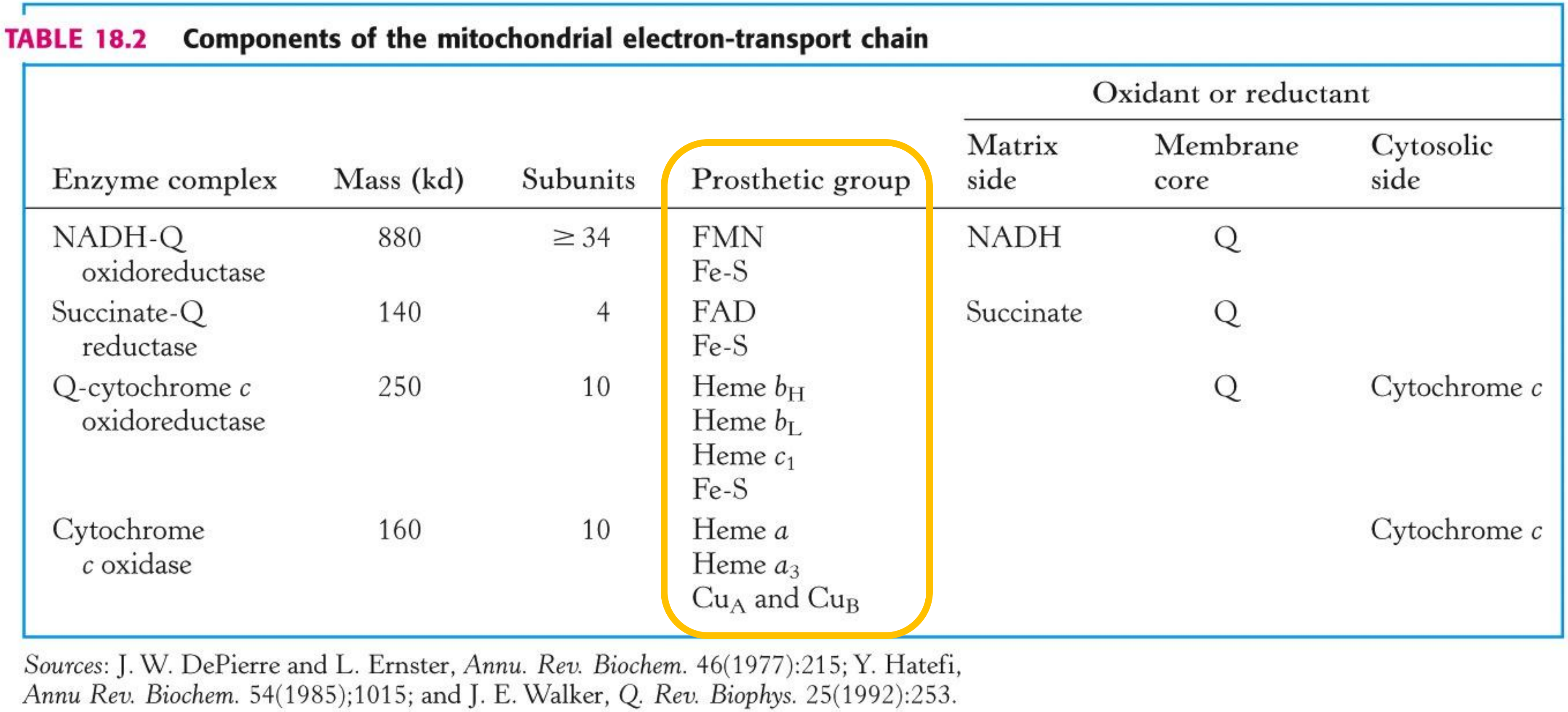
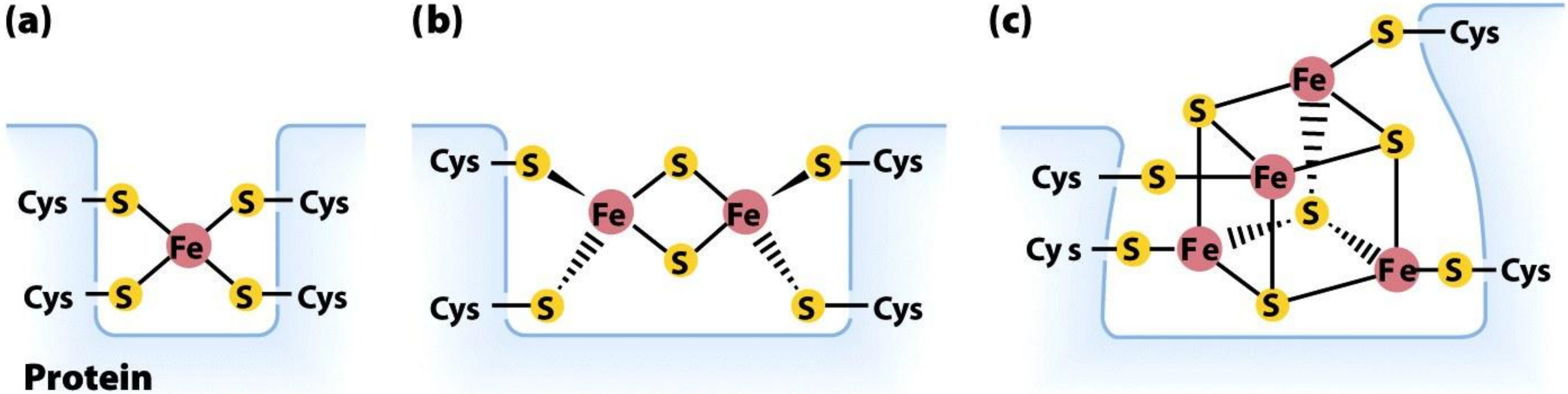
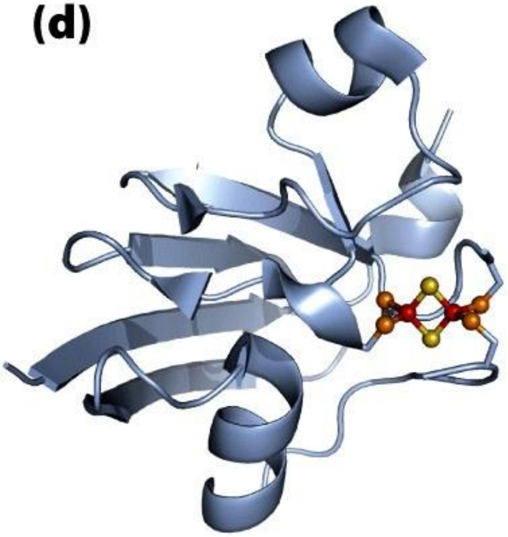


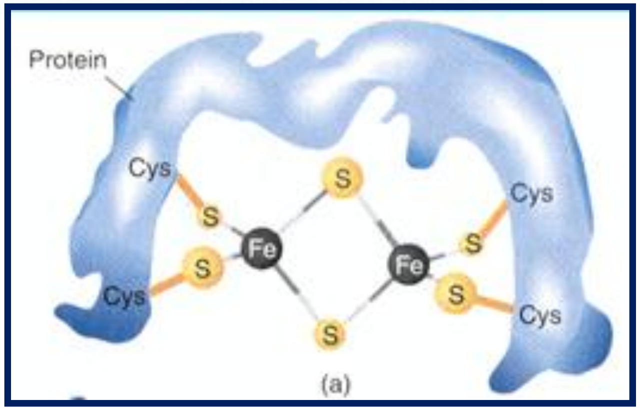
TABLE 18.2 **Components of the mitochondrial electron-transport chain**

				Oxidant or reductant		
Enzyme complex	Mass (kd)	Subunits	Prosthetic group	Matrix side	Membrane core	Cytosolic side
NADH-Q oxidoreductase	880	≥ 34	FMN Fe-S	NADH	Q	
Succinate-Q reductase	140	4	FAD Fe-S	Succinate	Q	
Q-cytochrome *c* oxidoreductase	250	10	Heme b_H Heme b_L Heme c_1 Fe-S		Q	Cytochrome *c*
Cytochrome *c* oxidase	160	10	Heme *a* Heme a_3 Cu_A and Cu_B			Cytochrome *c*

Sources: J. W. DePierre and L. Ernster, *Annu. Rev. Biochem.* 46(1977):215; Y. Hatefi, *Annu Rev. Biochem.* 54(1985);1015; and J. E. Walker, *Q. Rev. Biophys.* 25(1992):253.







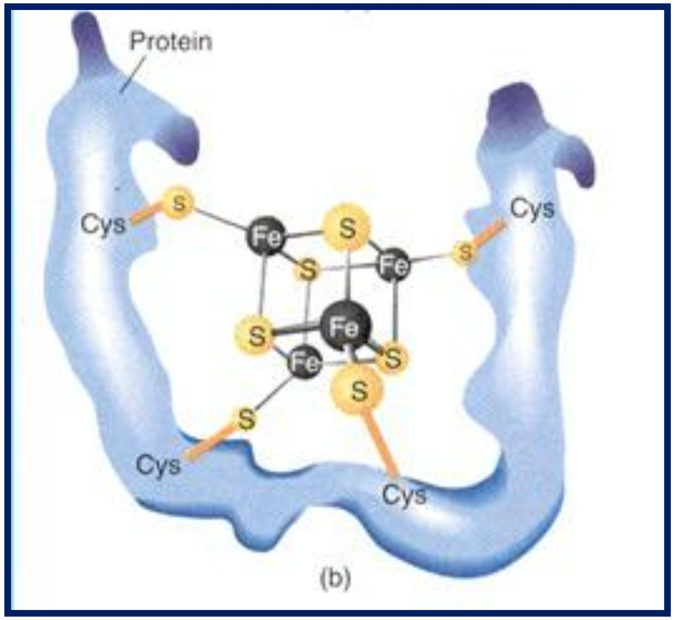
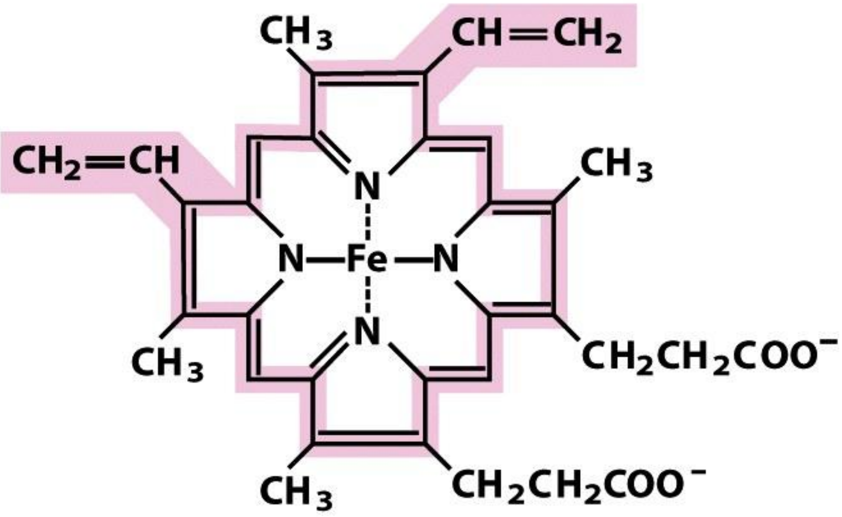


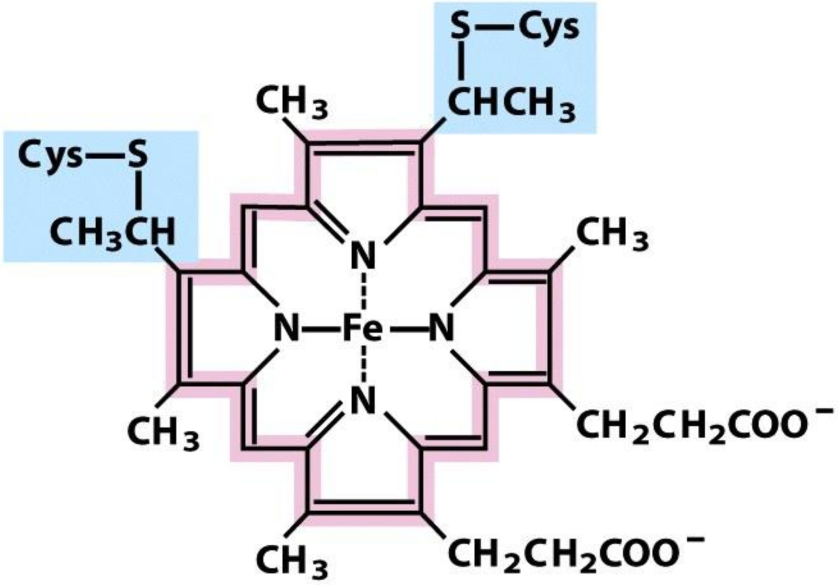
Figure 19-5

Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition

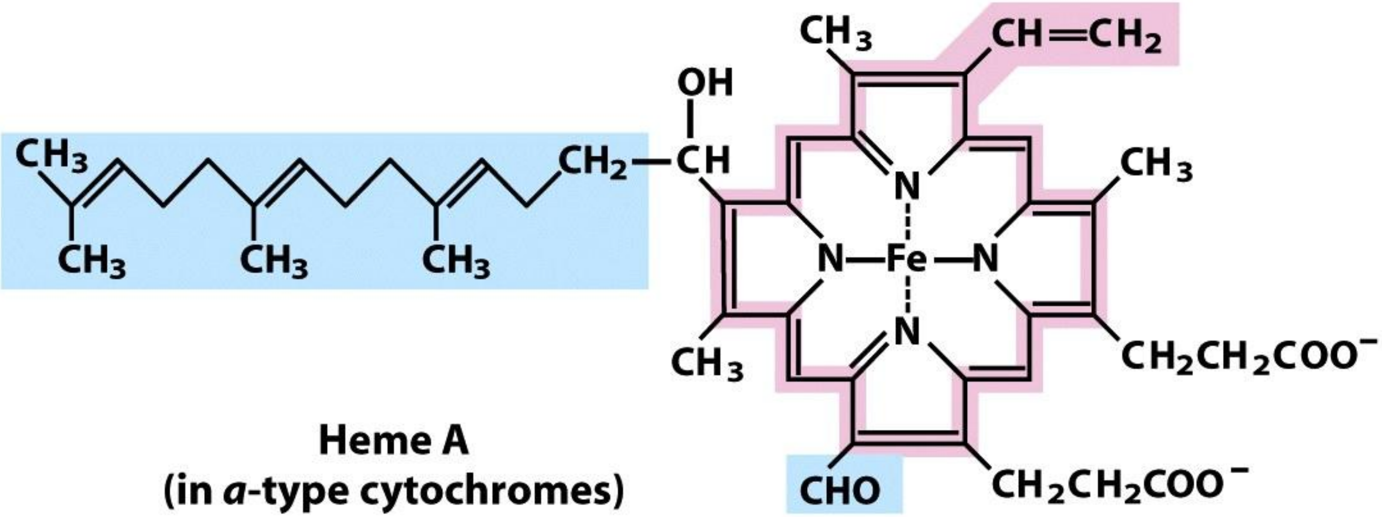
© 2008 W. H. Freeman and Company



Iron protoporphyrin IX
(in *b*-type cytochromes)



Heme C
(in *c*-type cytochromes)



Heme A
(in *a*-type cytochromes)

Figure 19-3
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

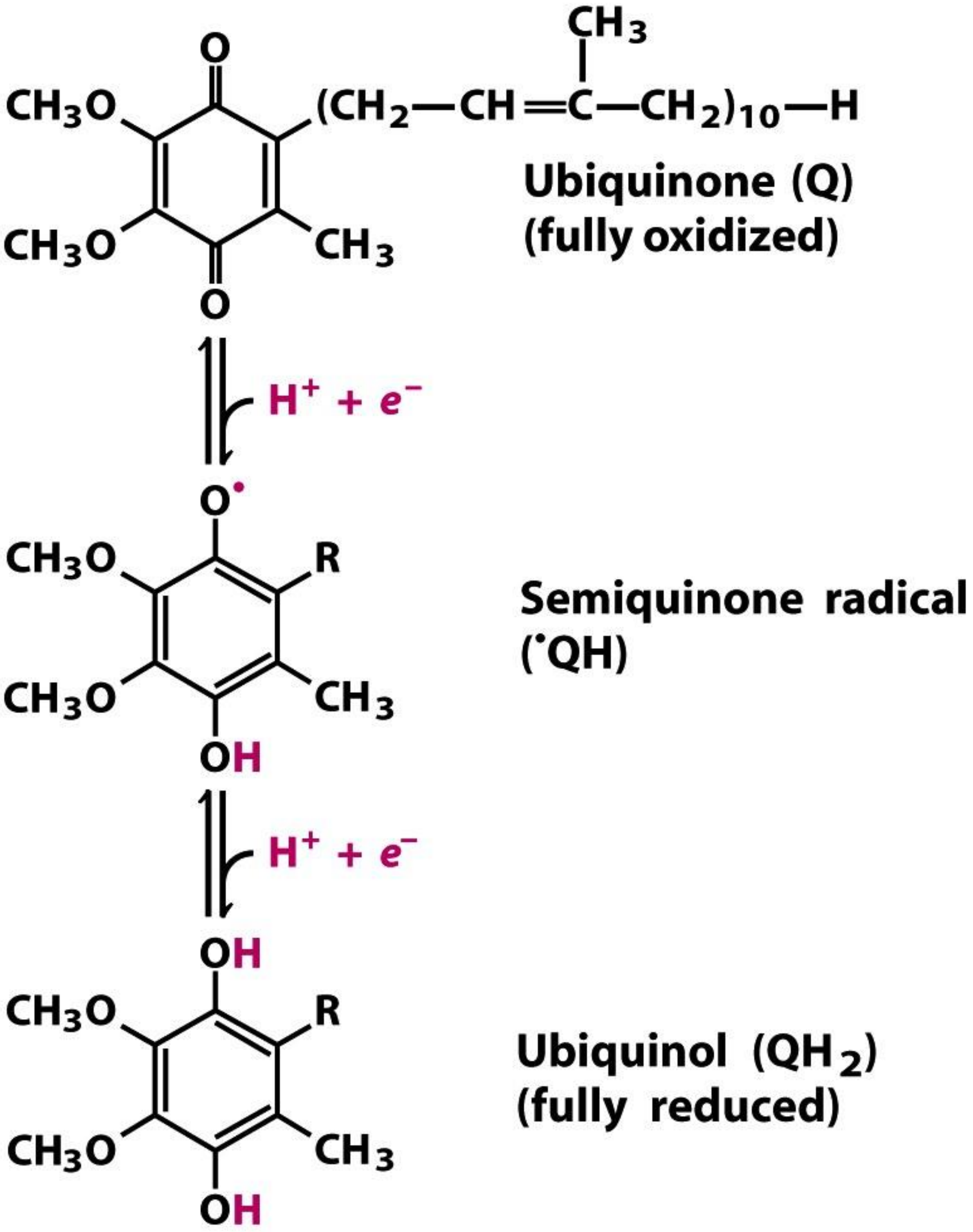
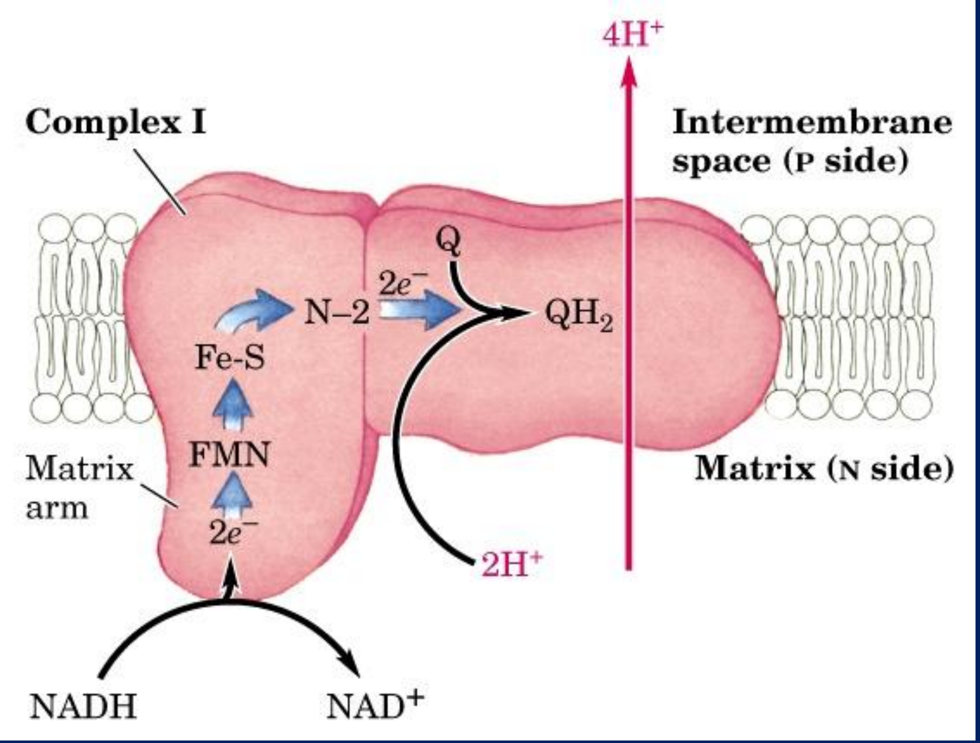


Figure 19-2
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company



NADH:Ubiquinone Oxidoreductase Complex I

One of the largest macro-molecular assemblies

- Over 40 different polypeptide chains, encoded by both nuclear and mitochondrial genes
- NADH binding site in the matrix side
- Non-covalently bound flavin mononucleotide (FMN) accepts two electrons from NADH
- Several iron-sulfur centers pass one electron at the time toward the ubiquinone binding site

Источники электронов для передачи на убихинон

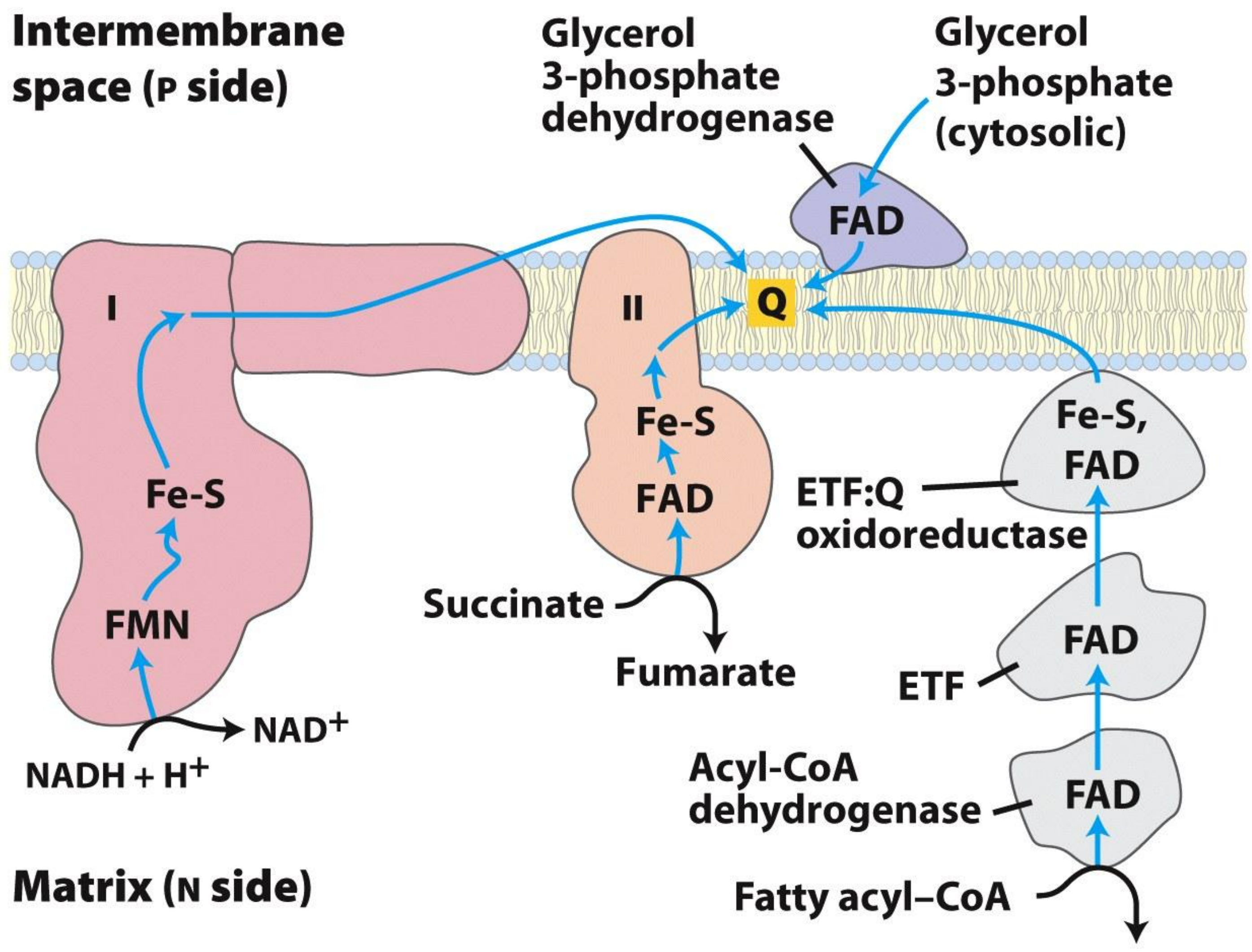
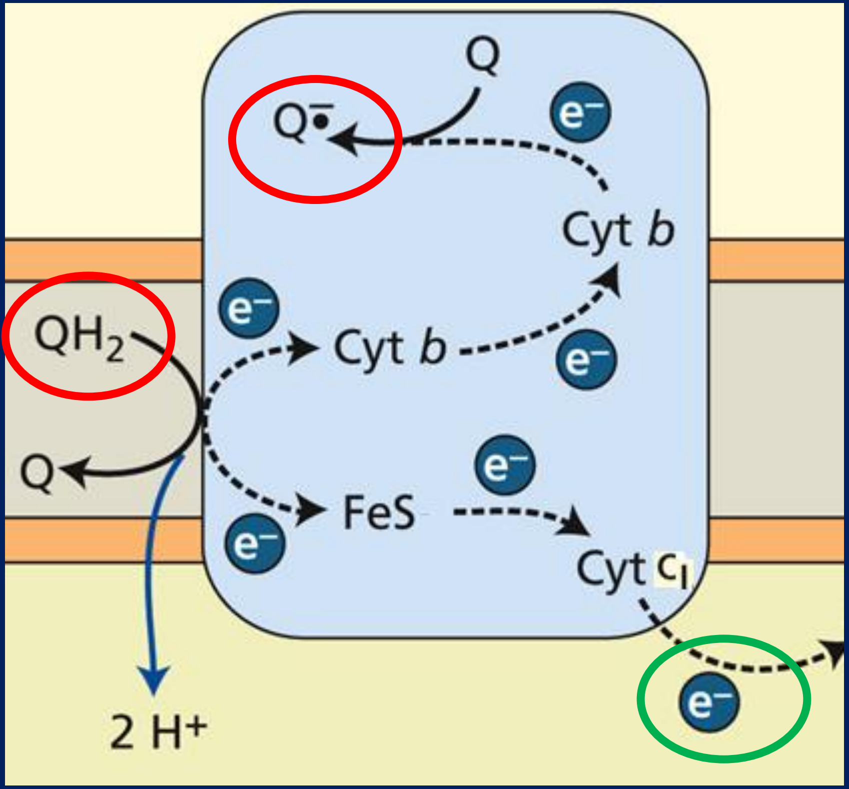
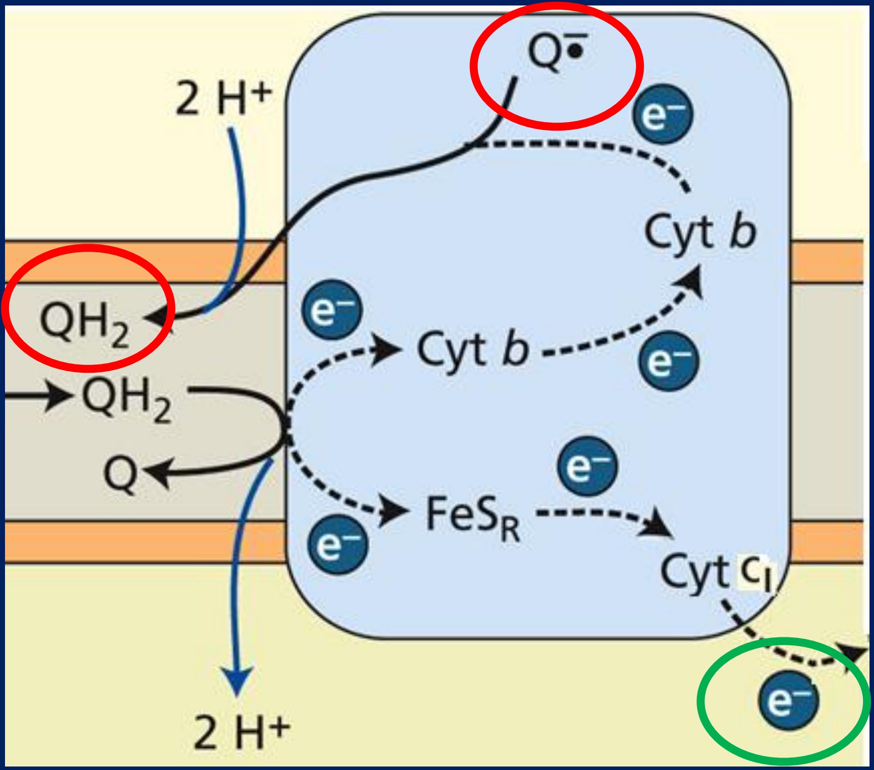


Figure 19-8
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

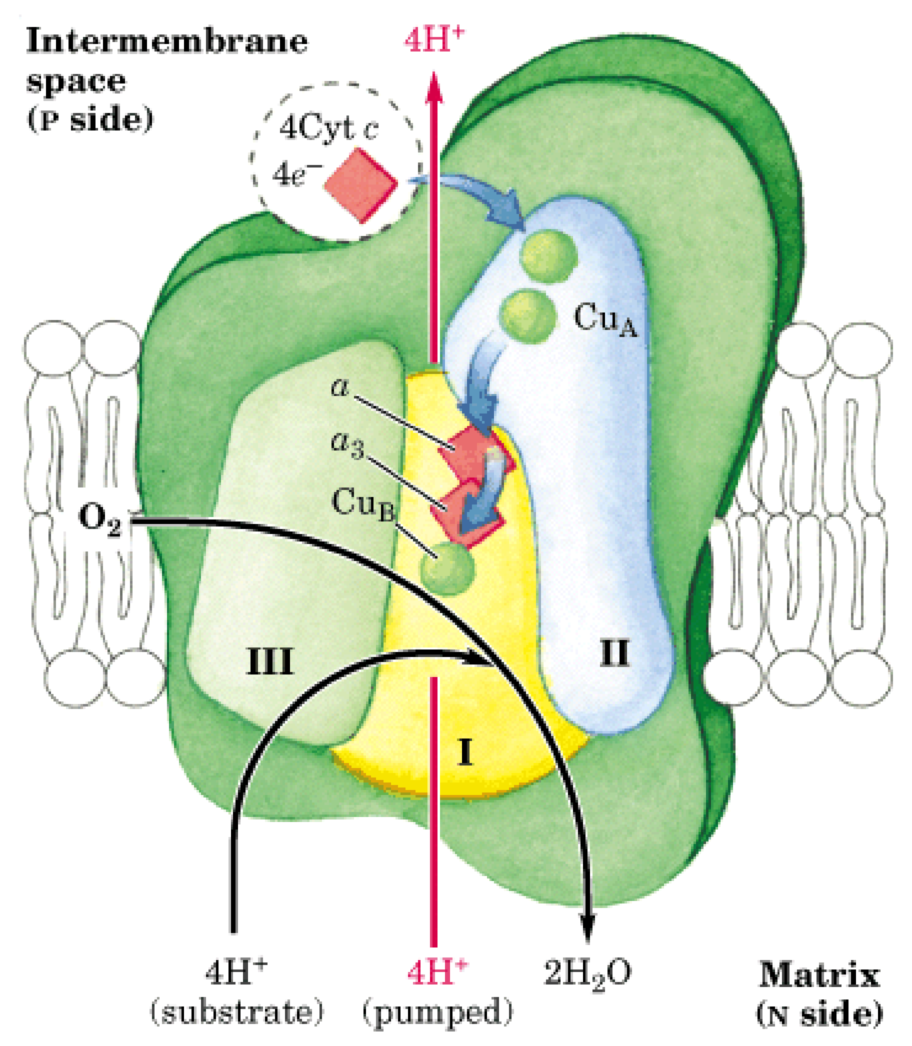
Проблема 1-электронного переноса (хинон – цитохром)

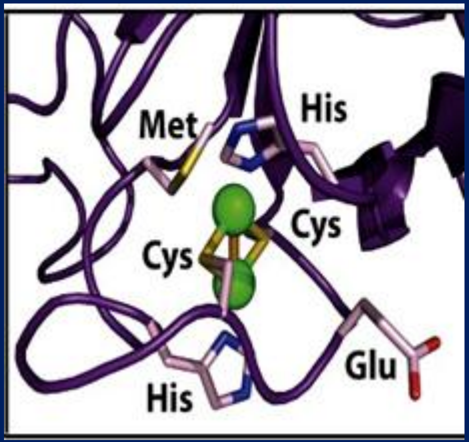




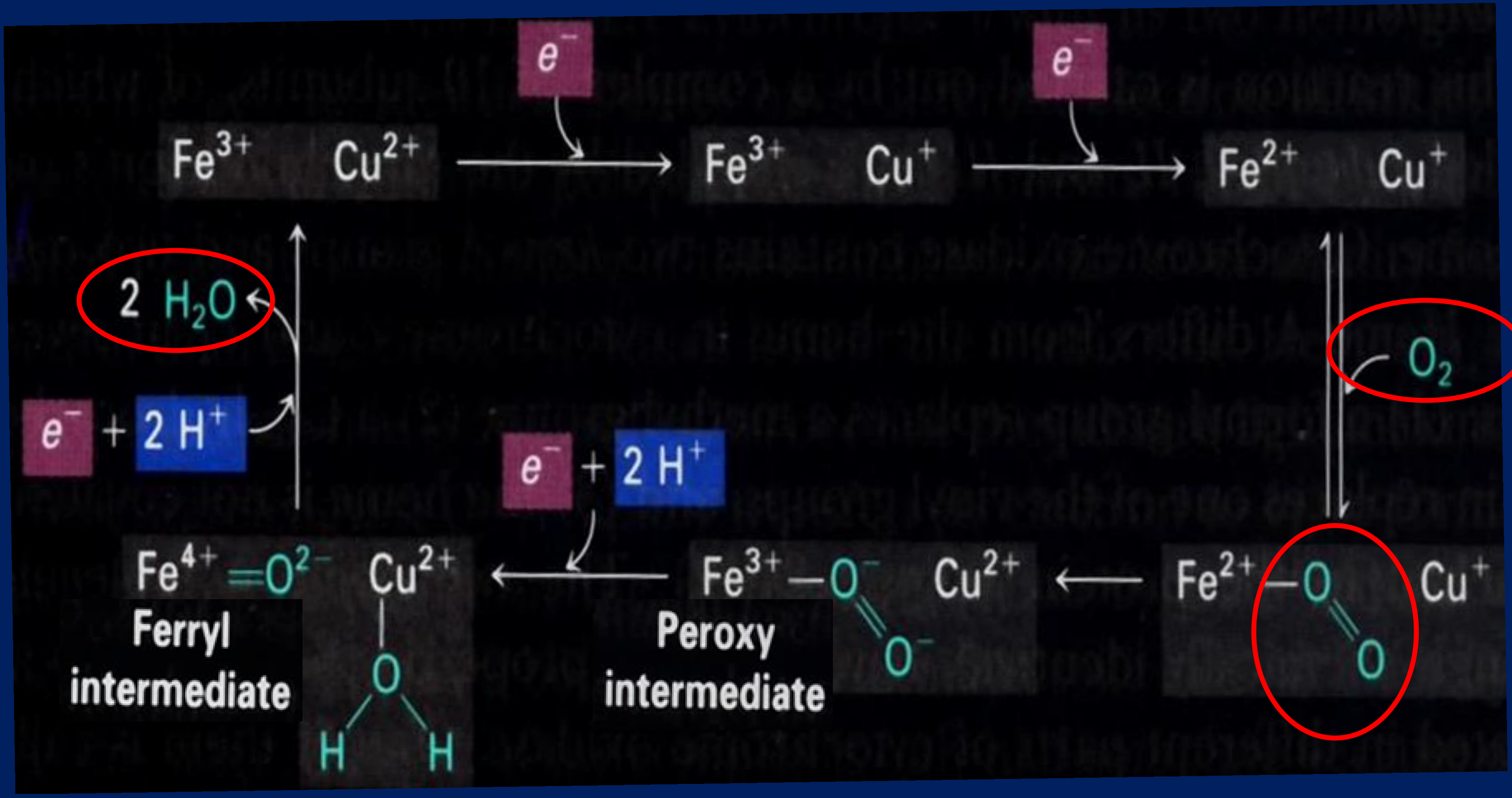
Cytochrome Oxidase Complex IV

- Mammalian cytochrome oxidase is a membrane protein with 13 subunits
- Contains two heme groups
- Contains copper ions
  - Two ions (Cu_A) form a binuclear center
  - Another ion (Cu_B) bonded to heme forms Fe-Cu center

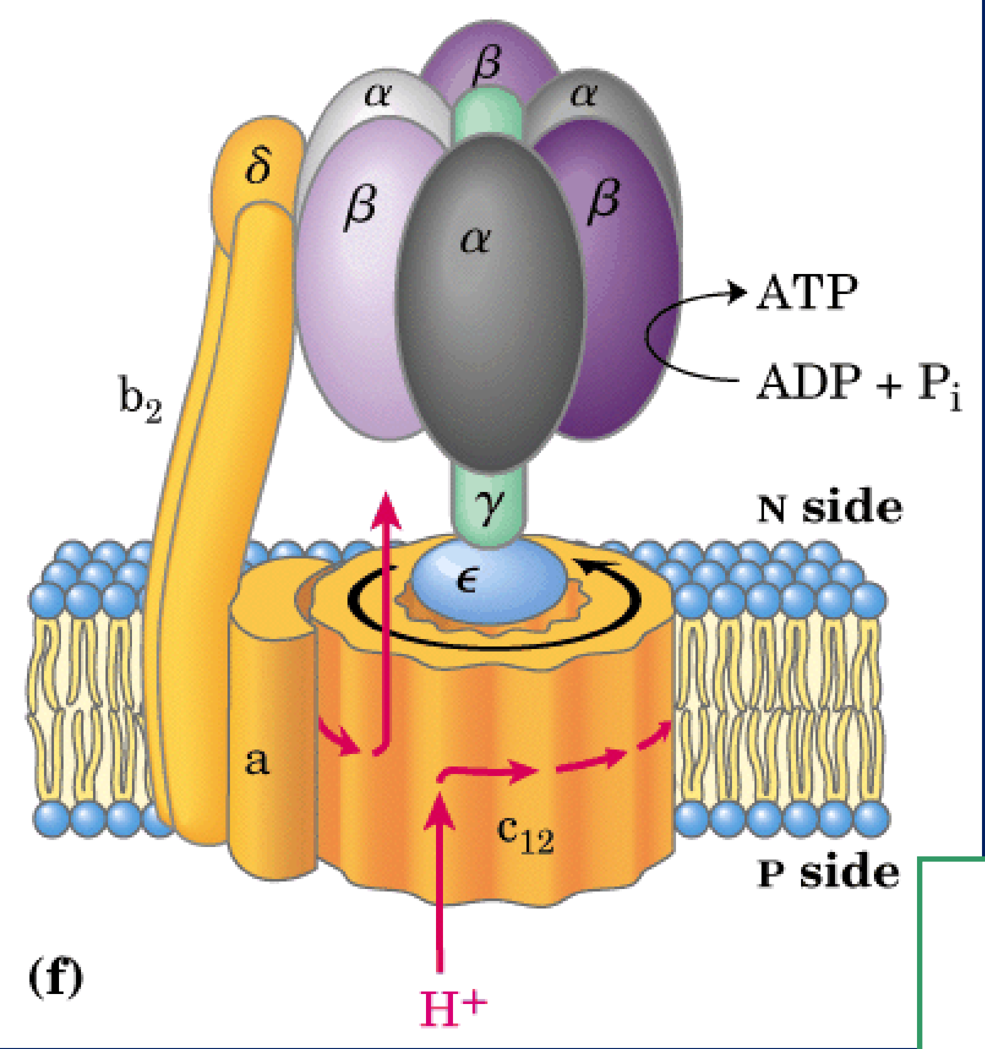


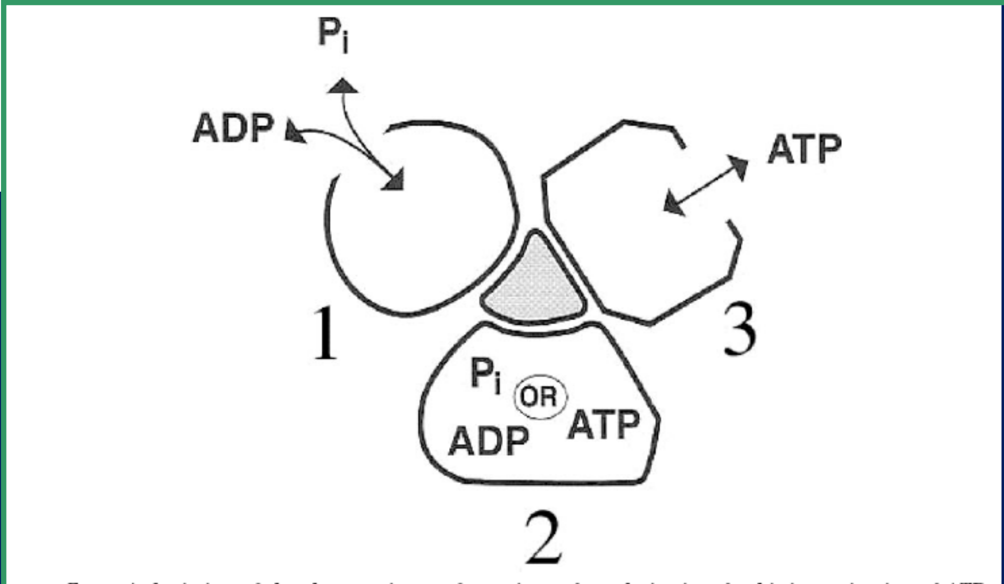


A proposed reaction cycle for the four-electron reduction of O_2 by cytochrome *c* oxidase (at the Heme a_3-Cu_B center)



АТФ-синтетаза: схема строения и принцип работы





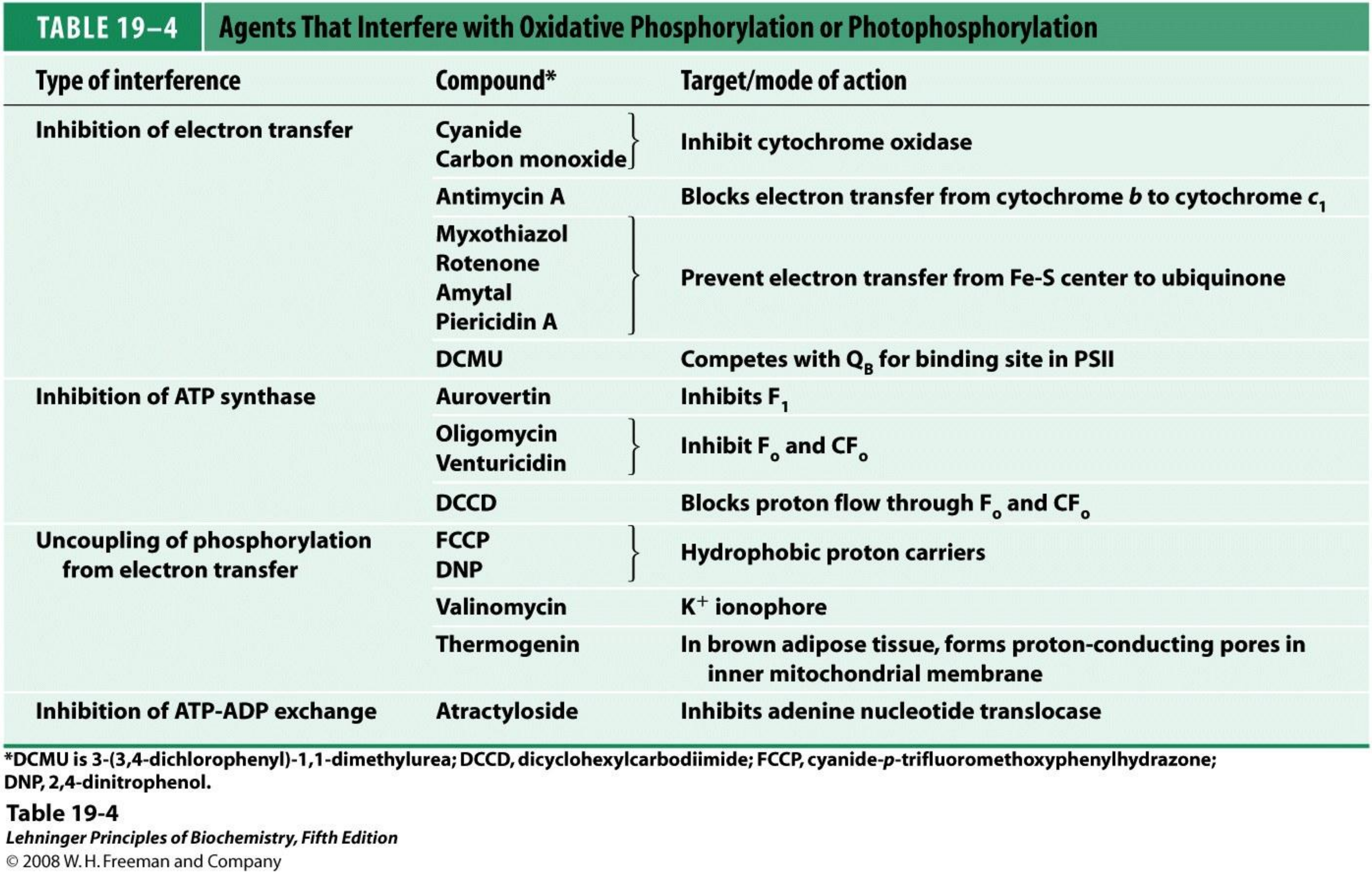


TABLE 19–4 Agents That Interfere with Oxidative Phosphorylation or Photophosphorylation

Type of interference	Compound*	Target/mode of action
Inhibition of electron transfer	**Cyanide** **Carbon monoxide**	**Inhibit cytochrome oxidase**
	Antimycin A	**Blocks electron transfer from cytochrome *b* to cytochrome c_1**
	Myxothiazol **Rotenone** **Amytal** **Piericidin A**	**Prevent electron transfer from Fe-S center to ubiquinone**
	DCMU	**Competes with Q_B for binding site in PSII**
Inhibition of ATP synthase	**Aurovertin**	**Inhibits F_1**
	Oligomycin **Venturicidin**	**Inhibit F_o and CF_o**
	DCCD	**Blocks proton flow through F_o and CF_o**
Uncoupling of phosphorylation from electron transfer	**FCCP** **DNP**	**Hydrophobic proton carriers**
	Valinomycin	**K^+ ionophore**
	Thermogenin	**In brown adipose tissue, forms proton-conducting pores in inner mitochondrial membrane**
Inhibition of ATP-ADP exchange	**Atractyloside**	**Inhibits adenine nucleotide translocase**

*DCMU is 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea; DCCD, dicyclohexylcarbodiimide; FCCP, cyanide-*p*-trifluoromethoxyphenylhydrazone; DNP, 2,4-dinitrophenol.

Table 19-4
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Аэробное дыхание: разнообразие дыхательных цепей

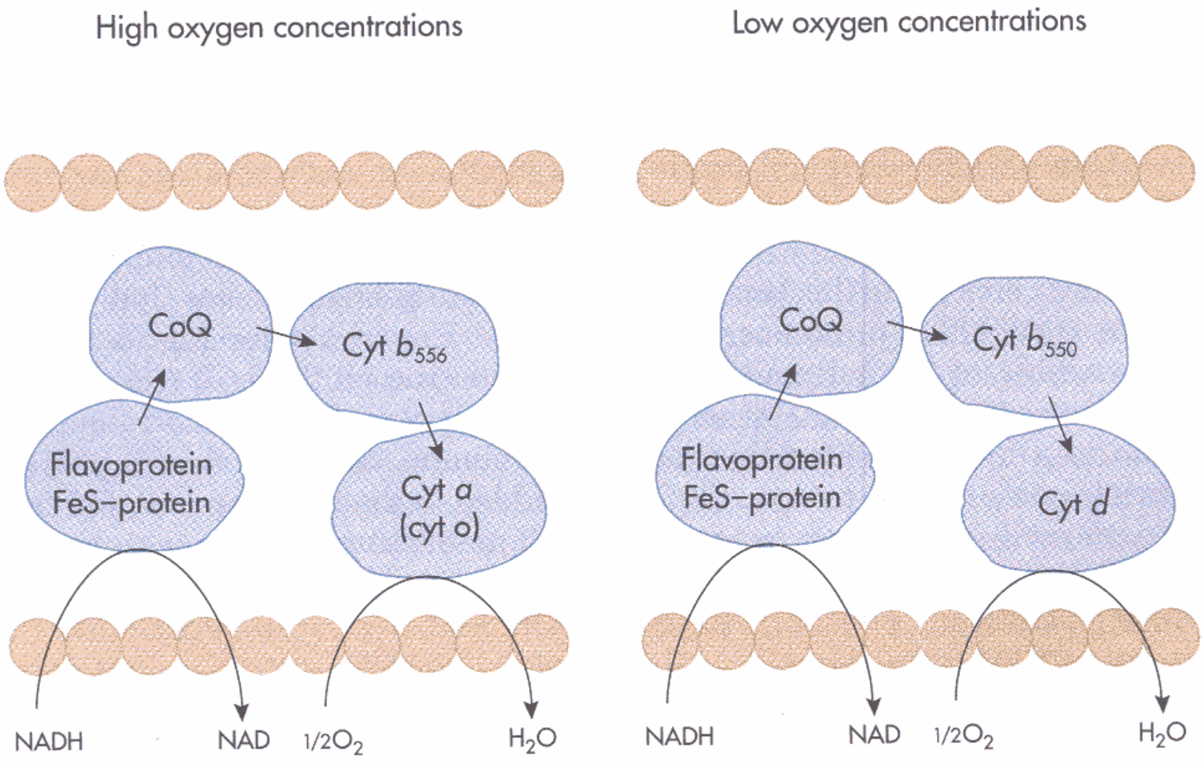


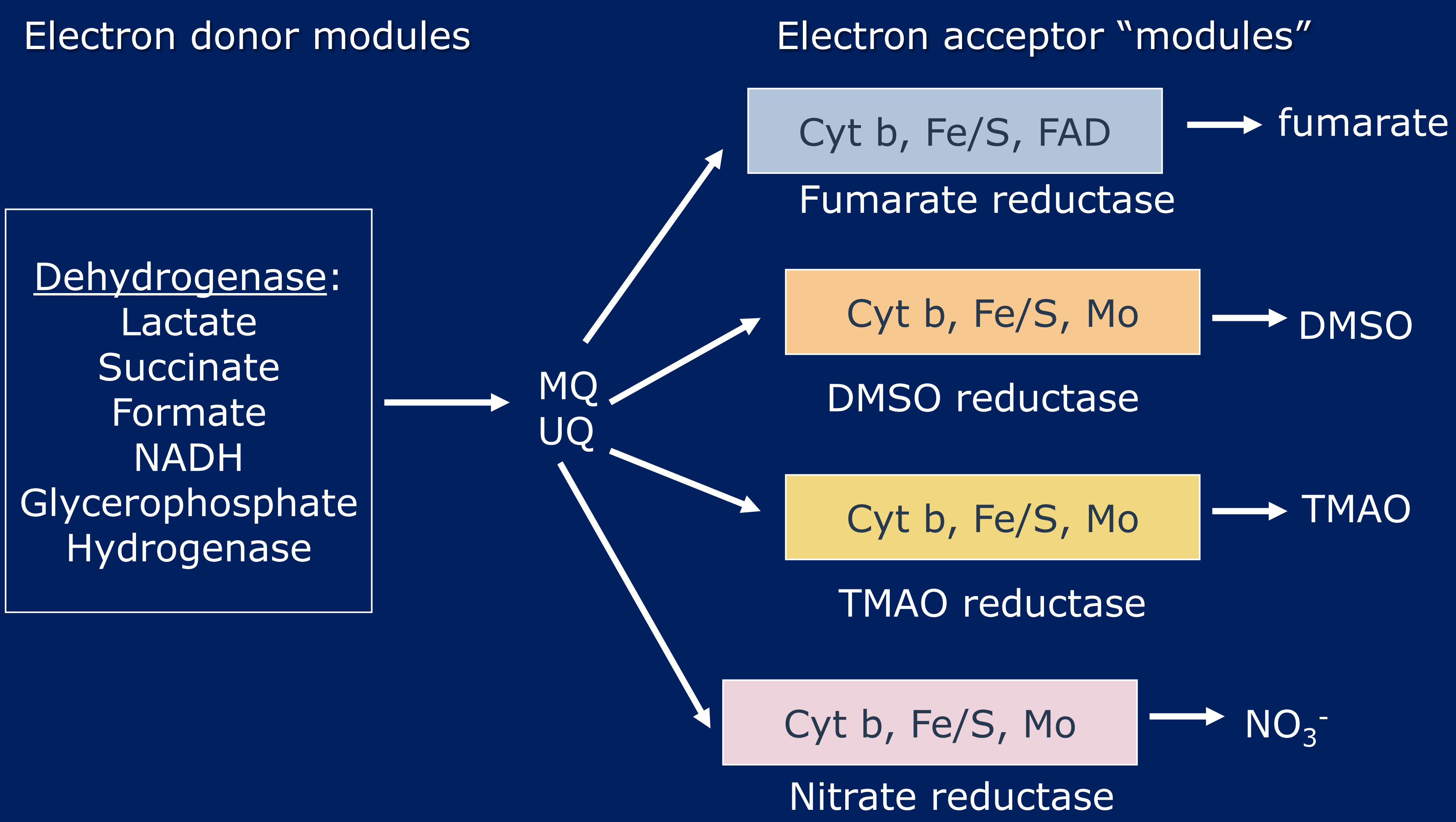
Fig. 4-11 Diversity of Electron Transport Chains. The actual carriers of electrons involved in this transport system vary among microorganisms. What is critical is the establishment of a sequence of oxidation-reduction reactions that establish a link between the electron donor and the terminal electron acceptor. In some cases, such as within *Escherichia coli*, the electron transport carriers can vary under different conditions.

<table>
<tr><th></th><th colspan="10">ХЕМОТРОФИЯ</th></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">Хемоорганотрофы</td><td colspan="5">Хемолитотрофы</td></tr>
<tr><td>Источник С</td><td colspan="5">Органические соед-я</td><td colspan="5">CO_2</td></tr>
<tr><td>Донор электронов</td><td colspan="5">Органические соед-я</td><td>H_2S / S</td><td>NH_3</td><td>NO_2</td><td colspan="2">H_2</td></tr>
<tr><td>Акцептор электронов</td><td>Органич. соединения</td><td>NO_3-</td><td>NO_2-</td><td>SO_4^{2-}</td><td>O_2</td><td colspan="4">O_2</td><td>CO_2</td></tr>
<tr><td>Обмен</td><td colspan="4">Анаэробный</td><td colspan="5">Аэробный</td><td>Анаэроб</td></tr>
<tr><td>Ассимиляция энергии</td><td>в виде химич. потенциала субстрата</td><td colspan="9">в виде трансмембранного электрохимического потенциала</td></tr>
<tr><td>Локализация</td><td>Цитозольные реакции (ДГ)</td><td colspan="9">Мембранные системы ЭТЦ
(цитохромы, Fe-S-центры, хиноны)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Синтез АТФ</td><td>субстратное фосфорил-е; превращение тиоэфиров</td><td colspan="9">Окислительное фосфорилирование</td></tr>
<tr><td>Брожение</td><td colspan="9">Дыхание (анаэробное и аэробное)</td></tr>
</table>

Анаэробное дыхание

Тип анаэробного дыхания	**Акцептор е**	**продукт**
Нитрат/нитритное	NO_3-	NO_2-
Денитрификация	NO_3-	NO, N_2O, N_2
Восстановление сульфата или серы	$SO_4{}^{2-}$ S^0	H_2S
Метаногенез	CO_2	CH_4
Восстановление металлов (железо, марганец, хром)	Fe^{3+} Mn^{4+}, Cr^{6+}	Fe^{2+} Mn^{3+}, Cr^{5+}
Органические соединения	Fumarate, DMSO, TMAO	Восстановленные соединения

Trimethylamine N-oxide (**TMAO**)
Dimethyl sulfoxide (DMSO)



Electron donor modules

Electron acceptor "modules"

Dehydrogenase:
Lactate
Succinate
Formate
NADH
Glycerophosphate
Hydrogenase

MQ
UQ

Cyt b, Fe/S, FAD → fumarate

Fumarate reductase

Cyt b, Fe/S, Mo → DMSO

DMSO reductase

Cyt b, Fe/S, Mo → TMAO

TMAO reductase

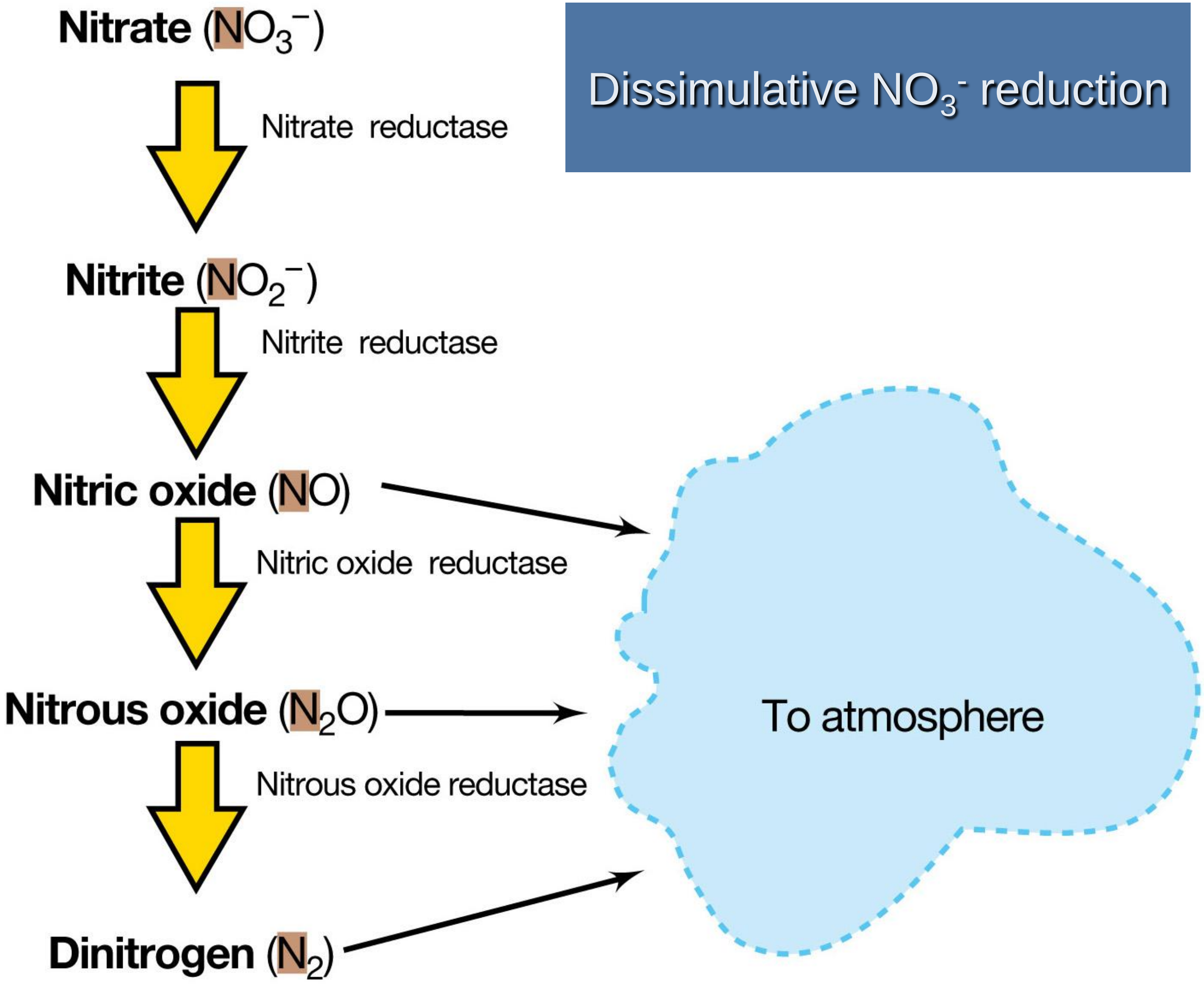
Cyt b, Fe/S, Mo → NO_3^-

Nitrate reductase

MenaQuinone
UbiQuinone

dimethylsulfoxide (DMSO),
Trimethylamine-N-oxide (TMAO)

Dissimulative NO_3^- reduction



Denitrification by *Pseudomonas stutzeri*

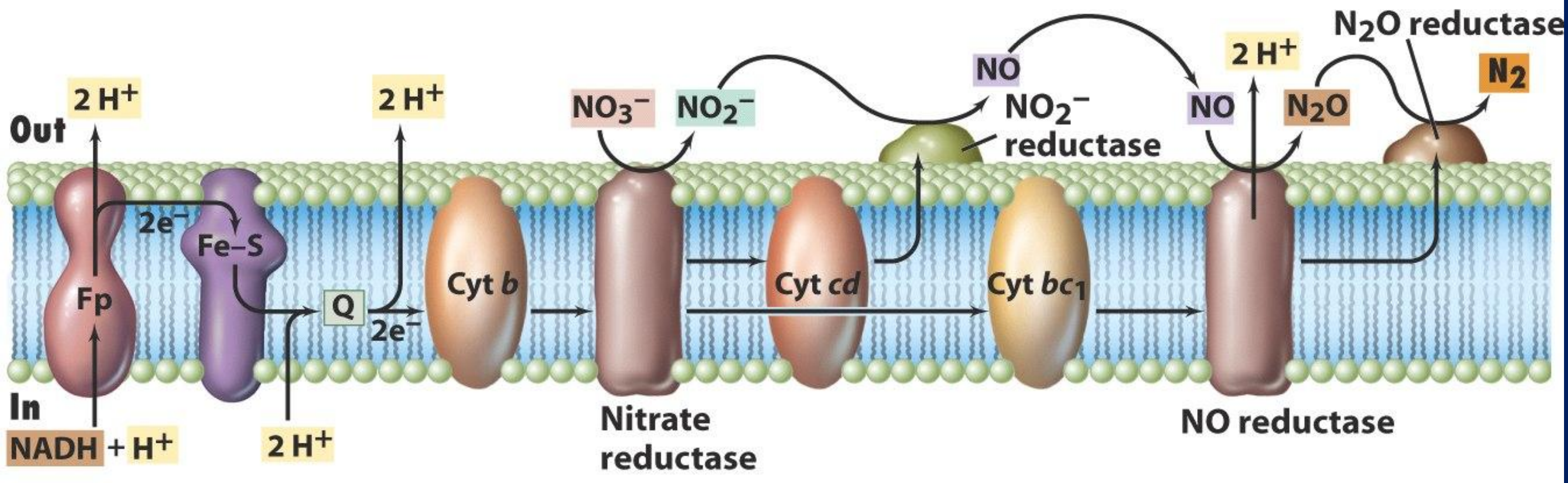
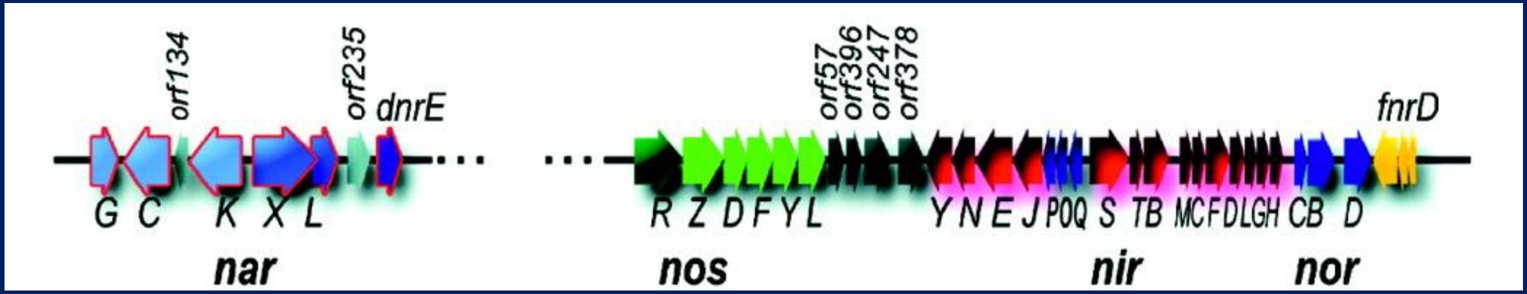


Figure 17-37c Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

- 4 terminal reductases
  - Nar: Nitrate reductase (Mo-containing enzyme)
  - Nir: Nitrite reductase
  - Nor: Nitric oxide reductase
  - N_2or: Nitrous oxide reductase
- All can function independently but they operate in unison



Nitrate vs. oxygen vs. denitrification respiration

oxygen

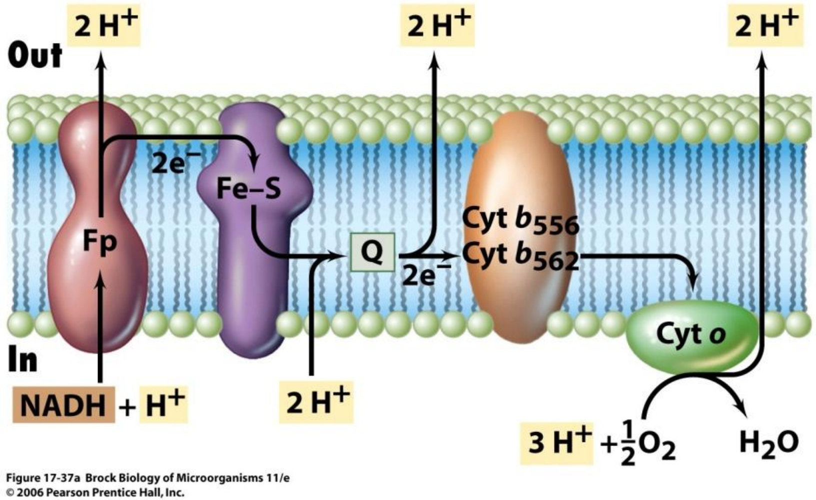


Figure 17-37a Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

nitrite

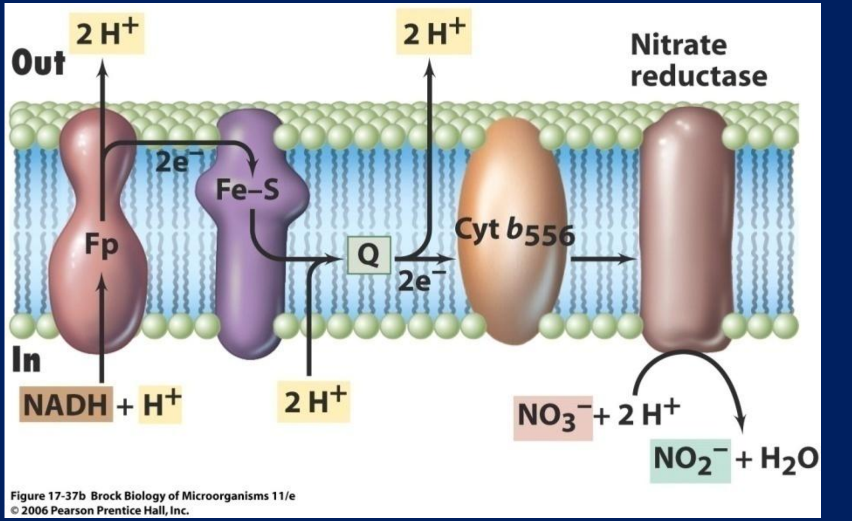


Figure 17-37b Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

denitrification

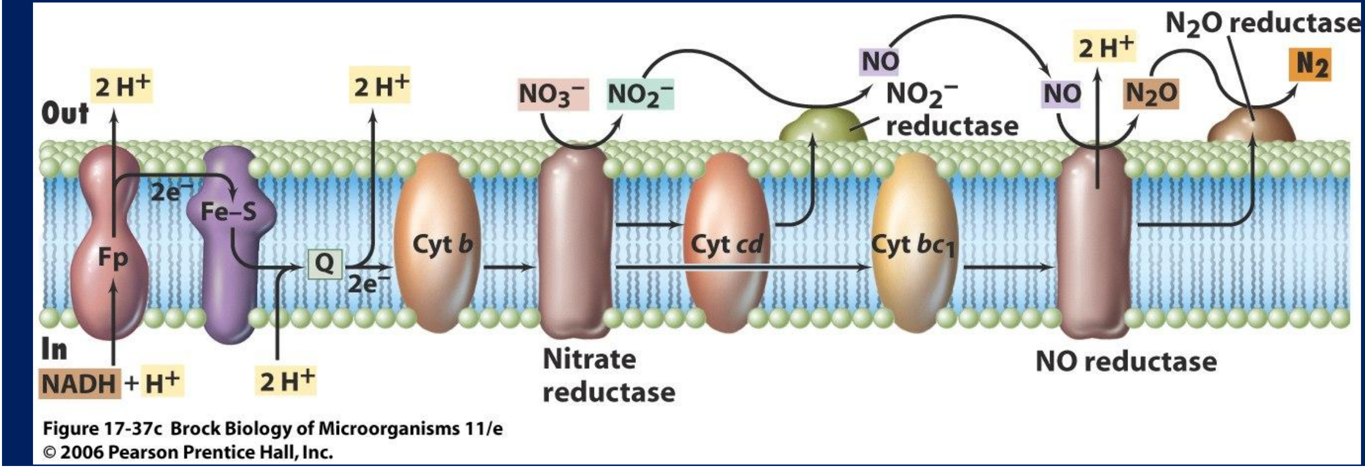


Figure 17-37c Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

Bacterial metabolism: O_2

- 1. *obligate aerobes* - use oxygen for cellular respiration
- 2. *facultative anaerobes* - will use oxygen but can also grow by fermentation in anaerobic environments
- 3. *obligate anaerobes* - cannot use oxygen (Clostridium) which causes gangrene, botulism, and tetanus

- */→ role of antioxidant systems*